



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

Larissa Aparecida Augusto

**Produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais:
equações alométricas e influência da identidade e diversidade funcional**

Florianópolis

2022

Larissa Aparecida Augusto

**Produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais:
equações alométricas e influência da identidade e diversidade funcional**

Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de mestre em agroecossistemas
Orientador: Prof. Ilyas Siddique, Dr.
Coorientador: Prof. Fernando Joner, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Augusto, Larissa Aparecida

Produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais
sucessionais : equações alométricas e influência da
identidade e diversidade funcional / Larissa Aparecida
Augusto ; orientador, Ilyas Siddique, coorientador,
Fernando Joner, 2022.

96 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Sistemas agroflorestais. 3.
Equações alométricas. 4. Ecologia Funcional. 5. Biomassa.
I. Siddique, Ilyas. II. Joner, Fernando. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Agroecossistemas. IV. Título.

Larissa Aparecida Augusto

**Produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais: equações
alométricas e influência da identidade e diversidade funcional**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Dra. Ana Catarina Conte Jakovac,
FIT/CCA/UFSC

Prof. Dr. David Douterlungne,
Instituto Potosino de Investigación Científica y
Tecnológica - México

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que
foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em agroecossistemas.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Ilyas Siddique, Dr.(a)
Orientador(a)

Florianópolis, 2022.

Dedico este trabalho a todos que acreditam e lutam para que a agroecologia esteja cada vez mais presente na vida dos agricultores brasileiros.

AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Ilyas Siddique pela orientação e todo apoio durante este período.
- Professor Fernando Joner pela coorientação.
- Integrantes do Laboratório de Ecologia Aplicada (LEAp – UFSC) pela ajuda com o experimento, nos mutirões de implantação e manejo. Em especial a Fabiola, Uriel e Djalma pela companhia diária.
- Integrantes do LEAp responsáveis pela implantação e condução do experimento (Diego Santos, Ilyas Siddique, Fernando Joner, Marinice Teleginski, Djalma Roecker Jr, Álvaro Lemos Monteiro, Uriel Cordeiro, Jéssyca Borges, Renata Lucas, Fabíola Martins, João Artur Moisés Gonzaga, Augusto Akira Hecke Kuwakino e Cícero Magnus da Silva), pelo preparo das amostras laboratoriais (Fabiola Martins), e pela ajuda nas coletas de biomassa (Fabiola Martins e Uriel Cordeiro).
- A toda equipe de técnicos e funcionários da Fazenda Experimental da Ressacada da UFSC, em especial, Marcelo Venturi, pela colaboração logística, assistência e fornecimento de insumos e equipamentos.
- Nicolas Zaslavsky de Lima, pela assistência com sua prática agroflorestal e pelo material de propagação de bananeiras.
- Dr. Ramon Felipe Scherer, da Epagri Fruticultura Tropical, pela colaboração com material de propagação de bananeiras. J. Abrilino Pires pelo material de propagação de cana-de-açúcar. Luiz Fernandes de Abreu, da Epagri de Santo Amaro da Imperatriz, pelo material de propagação de batata-doce. Anderson Munarini do Movimento dos Pequenos Agricultores, pelo material de propagação de milho crioulo palha roxa. Emilia Emiko Suzuki e Alice Aiko Suzuki, pelo auxílio com materiais de propagação e coleta de dados de campo.
- Filipi Borges Geremias e Américo Stella, da empresa Procomposto, e ao Renato Trivella, do SESC-Cacupé, pelo fornecimento de composto para área experimental.
- Professores Dr. Jucinei J. Comin, Cledimar Rogério Lourenzi e integrantes do Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais, do Departamento de Engenharia Rural da UFSC e Prof. Dr. Gustavo Brunetto da UFSM, pela parceria e contribuição nas análises laboratoriais.

- Laboratório Integrado de Fitotecnia e Laboratório de Sementes da UFSC por toda colaboração com espaço, pessoas e análises laboratoriais.
- Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do experimento através da Chamada Universal de pesquisa Nº 409638/2016-1.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado DS, possibilitando assim a permanência no programa.
- Agradeço aos amigos de pós graduação que encontrei nesta caminhada, que com toda certeza fizeram desta caminhada um pouco mais leve.
- Agradeço ao meu companheiro, Guilherme, pelo suporte durante todo este período.
- Agradeço imensamente aos meus pais, Fátima e Eliodoro. Que desde sempre me ensinaram que o estudo poderia me levar muito longe e sempre acreditaram que eu podia e posso conquistar tudo que desejo.

O homem somente terá saúde
se os alimentos possuírem energia vital.
Os alimentos somente possuem
energia vital se as plantas foram saudáveis.
As plantas somente serão saudáveis
se o solo for saudável.
(PRIMAVESI, A., 2016)

RESUMO

Diante de todos os desastres ambientais que o planeta vem sofrendo, fica claro a necessidade de mudarmos nossos hábitos. A agricultura convencional tem participação significativa no impacto causado a natureza, principalmente através do desmatamento e uso indiscriminado da terra. Frente a isso, sistemas agrícolas alternativos vêm ganhando espaço entre pesquisadores e agricultores, como é o caso da agroecologia e dos sistemas agroflorestais - SAFs. Os sistemas agroflorestais são sistemas capazes de consorciar espécies arbóreas com plantas herbáceas, arbustivas, culturas agrícolas e forrageiras, utilizando de conceitos ecológicos amplamente vistos na floresta. Os SAFs ainda geram serviços ecossistêmicos de regulação como conservação da biodiversidade, controle de insetos e plantas invasoras, conservação da água e do solo e sequestro de carbono. A eficiência destes sistemas está associada a produção de biomassa, a qual é depositada sobre o solo do SAF através de podas periódicas. Esse manejo é capaz de acelerar a sucessão natural e o ciclo produtivo. Apesar deste manejo ser de extrema importância, ainda existem lacunas no seu entendimento, como a influência quantitativa da abundância ponderada da estrutura funcional sobre a produtividade da biomassa. Esta pesquisa tem como objetivo construir equações alométricas para estimativa de produção de biomassa podada e entender a influência da estrutura funcional na produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais através da diversidade e identidade funcional. Esta pesquisa foi desenvolvida em parcelas permanentes de sistemas agroflorestais sucessionais com estrutura funcional controlada experimentalmente na Fazenda Experimental da Ressacada – UFSC em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. O experimento possui 18 parcelas com dimensão de 9x9m e é constituído de 5 faixas, sendo 1 faixa central com espécies arbóreas, 2 faixas internas e 2 externas com espécies adubadeiras. As espécies que compõem o experimento são: *Inga semialata*, *Psidium cattleianum*, *Schinus terebinthifolia*, *Citharexylum myrianthum*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Erythrina speciosa*, *Musa spp*, *Saccharum officinarum*, *Pennisetum purpureum* e *Cajanus cajan*. Para as equações alométricas foram utilizados modelos lineares polinomiais aninhados tendo como variável resposta a biomassa podada e como variáveis preditoras diâmetro e comprimento do galho podado. Para entender a influência dos atributos funcionais, foram utilizados modelos de efeitos mistos, tendo a biomassa podada como variável resposta e identidade funcional (CWM- Community Weighted Mean) e diversidade funcional (Rao) como variáveis preditoras e as faixas e blocos como efeitos aleatórios. Como resultados foram desenvolvidas equações alométricas capazes de estimar produção de biomassa podada de cada galho para todas as espécies do experimento. As equações obtidas apresentaram bons ajustes com coeficientes de determinação entre 0.73 (*Pennisetum purpureum*) e 0.96 (*Trema micrantha*), erro dos resíduos padronizados menores que 1% e erros relativos abaixo de 10%. Sobre a estrutura funcional, os resultados mostraram que 4 atributos orientam mais intensamente a produção de biomassa podada em SAFs, são a altura máxima das plantas (H), densidade específica do caule (SSD) e concentração de nitrogênio foliar (LNC), área foliar específica (SLA). Em relação a identidade funcional, o aumento de H e LNC ponderados pela comunidade impactam positivamente a produção de biomassa podada, enquanto que o aumento SSD diminui a produtividade. Em relação a diversidade, a diversidade ponderada pela comunidade de H e LNC entre espécies consorciadas aumentou a produção de biomassa podada. Sendo assim, para maximizar a produção de biomassa em sistemas agroflorestais sucessionais o arranjo de espécies deve contemplar alta diversidade interespecífica de alturas e LNC, além de priorizar espécies altas com características aquisitivas (por exemplo, alto LNC e SLA) e investimento relativamente

baixo em características estruturais (por exemplo, baixo SSD). A partir desses resultados, é possível estimar de forma eficiente e não destrutiva a biomassa disponível para poda das espécies estudadas, auxiliando o produtor a decidir o melhor momento para a poda. Isso poderia permitir a produção otimizada de biomassa e acelerar tanto o ciclo de produção quanto os processos sucessionais. Compreender o impacto da estrutura funcional poderia, assim, ajudar no desenvolvimento de diretrizes generalizáveis para a escolha de combinações de espécies, densidades de plantio e o momento das intervenções de manejo para otimizar a produtividade da biomassa para diversos fins.

Palavras-chave: adubação verde, manejo agrícola, adubadeiras, *Inga semialata*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Cajanus cajan*

ABSTRACT

Given all the environmental disasters that the planet has been suffering, the need to change our habits is evident. Conventional agriculture plays a significant role in the impact caused on nature, mainly through deforestation and indiscriminate land use. In face of this situation, alternative agricultural systems have been gaining ground among researchers and farmers, as is the case of agroecology and agroforestry systems - SAF. Agroforestry systems are capable of intercropping tree species with herbaceous plants, shrubs, agricultural and forage crops, using ecological concepts widely seen in the forest. SAFs also generate regulating ecosystem services such as biodiversity conservation, insect and invasive plant control, soil and water conservation, and carbon sequestration. The efficiency of these systems is associated with the production and periodic pruning of biomass, which is deposited on the soil surface within the SAF. This management is capable of accelerating the natural succession and the production cycle. Although this management is extremely important, there are still gaps in its understanding, such as the quantitative influence of the abundance-weighted functional trait structure on biomass productivity. This research aims to build allometric equations to estimate pruned biomass production and understand the influence of functional trait structure on pruned biomass production in successional agroforestry systems through diversity and functional identity. This research was carried out in permanent plots of successional agroforestry systems with experimentally controlled functional trait structure at the Ressacada Experimental Farm of – UFSC in subtropical Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. The experiment has 18 plots of 9x9m each and consists of 5 strips, 1 central strip with tree species, 2 internal and 2 external strips with green manure species. The species that make up the experiment are: *Inga semialata*, *Psidium cattleianum*, *Schinus terebinthifolia*, *Citharexylum myrianthum*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Erythrina speciosa*, *Musa spp*, *Saccharum officinarum*, *Pennisetum purpureum* and *Cajanus cajan*. For the allometric equations, nested polynomial linear models were used with destructively harvested pruned biomass as response variable and stem diameter and pruned branch length as predictor variables. To understand the influence of functional traits, mixed effects models were used, with pruned biomass as response variable and functional identity (CWM - Community Weighted Mean) and functional diversity (Rao) as predictor variables and strips and blocks as random effects. As results, allometric equations capable of estimating pruned biomass production of each branch were developed for all species in the experiment. The equations presented good fits with coefficients of determination between

0.73 (*Pennisetum purpureum*) and 0.96 (*Trema micrantha*), with standardized residual error of less than 1% and relative errors below 10%. Regarding the functional structure, the results showed that 4 traits most strongly predicted the production of pruned biomass in SAF, i.e. the maximum plant height (H), specific stem density (SSD), leaf nitrogen concentration (LNC) and specific leaf area (SLA). In relation to functional identity, increased community-weighted H and LNC positively impacted the productivity of pruned biomass, while an increase in SSD decreased productivity. Regarding functional diversity, the community-weighted diversity in H and LNC among intercropped species increased the production of pruned biomass. Therefore, to maximize biomass production in successional agroforestry systems, the intercrop should encompass high interspecific diversity of heights and LNC, as well as prioritizing tall species with acquisitive traits (e.g. high LNC and SLA) and relatively low investment in structural traits (e.g. low SSD). From these results, it is possible to efficiently and non-destructively estimate the biomass available for pruning of the widespread, studied species, helping the producer to decide the best timing for pruning. This could enable optimized biomass production and accelerate both the production cycle and successional processes. Understanding the impact of the functional structure could thereby help in developing generalizable guidelines for the choice of species combinations, planting densities and the timing of management interventions to optimize biomass productivity for diverse purposes.

Keywords: green manure, Agriculture management, biomass provider species, *Inga semialata*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Cajanus cajan*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processos e serviços fornecidos pelos sistemas de múltiplas espécies.	27
Figura 2. Localização da Fazenda da Ressacada, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, situada em Florianópolis, SC, Brasil.	32
Figura 3. Disposição e dimensões das parcelas, dos tratamentos experimentais dentro de cada bloco na área experimental. As letras dentro das parcelas representam os tratamentos B - Baixo, M - Médio e A - Alto nitrogênio foliar.	34
Figura 4. Lógica na qual o experimento foi planejado, onde a identidade funcional cresce com o aumento do atributo N-foliar e a diversidade funcional é maior no tratamento médio.	35
Figura 5. Linha do tempo das espécies que foram plantadas no experimento e as que foram roçadas e saíram do sistema.	36
Figura 6. Distribuição das faixas adubadeiras 2016 e 2018 e arbóreas nas parcelas de SAFs.	44
Figura 7. Biomassa podada seca sendo mensurada com o auxílio de uma balança semi analítica.	45
Figura 8. Mensuração de medidas indiretas para compor a equação alométricas.	46
Figura 9. Mensuração do diâmetro na base e do comprimento do galho podado com o auxílio de um paquímetro digital e uma trena, respectivamente.	46
Figura 10. Coleta e mensuração do comprimento da biomassa podada do capim elefante.	47
Figura 11. Mensuração de medidas indiretas que irão compor a equação alométricas para plantas de Banana (<i>Musa paradisíaca</i>).	48
Figura 12. Coleta e mensuração do comprimento dos galhos podados.	49
Figura 13. Gráficos de ajuste do modelo escolhido e dispersão de resíduos.	54
Figura 14. Representação da parcela experimental com dimensões e distribuição das faixas com os diferentes hábitos de crescimento das espécies vegetais cultivadas em sistema agroflorestal.	62
Figura 15. Fórmula da equação utilizada para gerar o valor de diversidade funcional do sistema.	65
Figura 16. Formula da equação utilizada para gerar o valor de identidade funcional do sistema em relação ao atributo funcional de interesse.	65
Figura 17. Fotos tiradas durante as podas do experimento. A esquerda a poda de uma espécie arbórea, no caso a grandíúva e a direita a poda da bananeira.	66
Figura 18. Exemplo prático dos cálculos realizados para estipular quantidade de biomassa podada por metro quadrado a partir da coleta em campo.	67
Figura 19. Média de biomassa podada durante 12 meses do conjunto de espécies adubadeiras consorciadas nos tratamentos de espécies de baixo (B), baixo+alto (médio M) e alto (A) LNC foliar aos 3 anos após instalação das parcelas agroflorestais.	69
Figura 20. Ajustes entre diversidade funcional considerando todos os atributos funcionais mensurados neste trabalho com a biomassa podada em quilogramas por metro quadrado.	71
Figura 21. Ajustes entre identidade funcional da área foliar específica ($\text{mm}^2 \text{g}^{-1}$) com a biomassa podada em quilogramas por metro quadrado.	73

Figura 22. Ilustração representado os principais resultados da pesquisa: aumento da produção de biomassa podada com o aumento do CWM para os atributos H e LNC e diversidade em H, SLA e LNC e diminuição com o CWM SSD..... 78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Lista de atributos funcionais e suas respectivas funções.....	24
Quadro 2. Espécies presentes no experimento. ADUB = Adubadeiras (Arbustivas ou herbáceas gigantes); ARV = Árvores; A = alta concentração de nitrogênio foliar; B = baixa concentração de nitrogênio foliar; M = combinação de alta e baixa concentração de nitrogênio foliar.	37
Quadro 3. Classificação das arvores do experimento nas categorias de poda pré-estabelecidas.	39
Quadro 4. Ordem e descrição das regras seguidas para a realização da poda durante as coletas.	39
Quadro 5. Lista de atributos funcionais medidos para as espécies conforme especificações de PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013; DIAZ et al., 2016.	63
Quadro 6. Descrição de atributos funcionais utilizados e metodologia utilizada para seleção, coleta e medição dos dados.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise do solo na área experimental antes da instalação do experimento. Profundidade: 0-20cm. Setembro de 2016.	33
Tabela 2. Espécies que compõem os SAFs. Descrição das faixas: 1 – Adubadeiras 2018; 2 – Adubadeiras 2016 e 3 – Arbóreas.	45
Tabela 3. Espécies coletadas, número de galhos podados (número de indivíduos) dessas espécies e amplitude de DAB = diâmetro na base e comprimento obtidos.....	51
Tabela 4. Equações com o melhor ajuste aos dados para estimativa de produção de biomassa podada (gramas) usando diâmetro na base (DAB) ou comprimento (Comp) do galho podado.	53
Tabela 5. Variáveis de resposta, preditoras e aleatórias utilizadas para compor os modelos testados usando o método de máxima verossimilhança (method = “ML”). Cada variável preditora foi testada em um modelo separado para evitar colinearidade entre preditoras. CWM: Community weighted mean; RAO: Diversidade Funcional; área foliar (LA), área foliar específica (SLA), conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), densidade específica do caule (SSD), altura máxima (H) e concentração foliar de nitrogênio (LNC).....	68
Tabela 6. Modelo final com efeito significativo da estrutura funcional planejada (Tratamentos) sobre a biomassa podada.....	69
Tabela 7. Modelos avaliados da diversidade funcional (considerando todos os atributos e cada atributo separadamente) em relação a produção de biomassa podada. Tendo como variáveis aleatórias a faixas aninhadas dentro dos blocos e os blocos.	70
Tabela 8. Modelos finais para identidade funcional com efeito significativo da variável preditora sobre a variável resposta e que atenderam aos pressupostos de não colinearidade, homocedasticidade e normalidade.	72
Tabela 9. Modelos finais com efeito significativo da diversidade funcional + identidade funcional sobre a variável resposta e que atenderam aos pressupostos de não colinearidade, homocedasticidade e normalidade.	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC – Critério de informação de Akaike

Comp – Comprimento (cm)

DAB – Diâmetro na base (mm)

DF – Diversidade Funcional

FD – Functional Diversity

FR – Functional Redundancy

LA – Leaf Area (Area Foliar)

LDMC – Leaf Dry Matter Content (Conteúdo foliar de matéria seca)

LEAp – Laboratório de Ecologia Aplicada da UFSC

LNC – Leaf Nitrogen Concentration (Concentração foliar de nitrogênio)

R^2 – Coeficiente de determinação

R^2_{aj} – Coeficiente de determinação ajustado

RF – Redundância Funcional

SAFs – Sistemas agroflorestais

SSD – Steam Specific Density (Densidade específica do caule)

SLA – Specific Leaf Area (Area foliar específica)

SE – Serviços Ecossistêmicos

UFSC – Universidade Federal de Santa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
2	OBJETIVO GERAL.....	22
2.1.	Objetivos específicos	22
3	HIPÓTESES	22
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
4.1.	Biodiversidade, Diversidade e Identidade Funcional	23
4.2.	Sistemas Agroflorestais	26
4.3.	Poda	27
4.4.	Biomassa.....	28
4.5.	Equações Alométricas.....	29
5.	MATERIAL E MÉTODOS	30
5.1.	Abordagem Experimental	30
5.2.	Área de estudo	32
5.3.	Delineamento experimental	33
5.4.	Coleta de dados	38
5.4.1.	Metodologia de poda.....	38
5.5.	Análises Estatísticas.....	39
6.	CAPÍTULO I: Equações alométricas para estimar produção de biomassa podada em espécies comumente usadas em sistemas agroflorestais no subtropical 40	
6.1.	Resumo	40
6.2.	Abstract.....	41
6.3.	Introdução	42
6.4.	Metodologia.....	43
6.4.1.	Area de estudo.....	43
6.4.2.	Espécies.....	44
6.4.3.	Coleta de dados	45
6.4.3.1.	Feijão Guandu (<i>Cajanus cajan</i>).....	46
6.4.3.2.	Cana de açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) e Capim Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>)	47
6.4.3.3.	Banana (<i>Musa paradisiaca</i>).....	47
6.4.3.4.	Espécies Arbóreas.....	48
6.4.4.	Análises estatísticas.....	49
6.5.	Resultados e Discussão	50
6.6.	Conclusões	56

6.7. Financiamento.....	56
7. CAPÍTULO II: Efeitos da estrutura funcional das plantas em sistemas agroflorestais sucessionais sobre a produção de biomassa podada no subtropical do Brasil.....	57
7.1. Resumo	57
7.2. Abstract.....	58
7.3. Introdução	59
7.4. Materiais e Métodos.....	61
7.4.1. Área de estudo.....	61
7.4.2. Delineamento experimental.....	61
7.4.3. Coleta de dados	63
7.4.3.1. Avaliação de atributos funcionais.....	63
7.4.3.2. Quantificação da diversidade e identidade funcional	64
7.4.3.3. Quantificação da Biomassa podada	66
7.4.4. Análises estatísticas.....	67
7.5. Resultados e Discussão.....	68
7.5.1. Influência da estrutura funcional planejada (Tratamentos) sobre a produção de biomassa podada.....	68
7.5.2. Influência da diversidade funcional sobre a produção de biomassa podada	70
7.5.3. Influência da identidade funcional sobre a produção de biomassa podada	72
7.5.4. Influência da diversidade funcional e identidade funcional sobre a produção de biomassa podada.....	76
7.6. Conclusão.....	78
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
9. REFERÊNCIAS	81
10. ANEXOS	93

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Determinadas atividades humanas vêm causando destruição dos recursos naturais, principalmente aquelas vinculadas ao consumismo desenfreado destes recursos (STEFFEN et al., 2015).

Dentre essas atividades, o uso indiscriminado da terra, principalmente na agricultura, vem reduzindo de forma dramática a biodiversidade global. Fatores como a fragmentação e perda de habitat, exploração massiva de recursos biológicos, poluição, introdução de espécies invasoras e exóticas e, por fim, o aquecimento global, causam a extinção de espécies de forma catastrófica (BARBIER et al. 1995; HOOPER et al., 2005; ISBELL et al., 2017). Devido ao crescimento populacional estima-se que a produção de alimentos deve ser dobrada até 2050 para que todos tenham acesso ao alimento (FAO, 2009). Contudo, esse acesso ao alimento só seria possível com a intensificação da agricultura chamada de convencional, aquela que é baseada no uso de fertilizantes, pesticidas e mecanização. Porém, isto também significa maior destruição de recursos ambientais, os quais já estão fragilizados devido a exploração intensa (TILMAN, 2002; HUNTER et al., 2017).

Na contramão da agricultura convencional existem sistemas agrícolas capazes de atender as demandas de produção de alimentos, as questões ambientais, econômicas e sociais. Isso é possível fazendo uso de teorias e conceitos ecológicos, e inserindo-os dentro dos sistemas agrícolas. Um destes sistemas que tem se revelado bastante promissor é o sistema agroflorestal, ou apenas SAF (GABA et al., 2014; PALMA et al., 2007). Os sistemas agroflorestais são sistemas produtivos onde árvores são consorciadas com outros sistemas de uso da terra, como plantio de grãos, hortaliças e criação de animais. As árvores dentro destes sistemas são capazes de gerar serviços ambientais¹ para os demais plantios e para o ecossistema onde estão inseridas. Trazendo mudanças positivas no ambiente e retorno econômico aos produtores (NAIR, 1993; OTEGBEYE, 2002; RIBEIRO; DUBOC; DE MELO, 2004; STEENBOCK et al., 2013; SHARESTHA et al., 2018; PLATIS et al., 2019). Estes sistemas são capazes de gerar múltiplos serviços

¹Serviços Ambientais: Eles permitem a geração de produtos que são responsáveis pela manutenção da biodiversidade e que são consumidos pelo homem, como madeira, fibra, peixes, remédios, sementes, combustíveis naturais, entre outros. Ou seja, com o fim de sustentar a vida na Terra, a natureza é capaz de gerar se processos específicos para isso (IPAM, 2015).

ecossistêmicos², como ciclagem de nutrientes, conservação da biodiversidade, controle de insetos e plantas invasoras, conservação da água e do solo e sequestro de carbono (MALÉZIEUX et al., 2009).

Quando falamos em SAFs entramos em uma infinidade de possibilidades em relação a composição e arranjo espacial das espécies. De forma simplificada podemos subdividir um SAF em espécies produtivas de curto, médio e longo prazo e espécies adubadeiras. As espécies produtivas, como o próprio nome diz, são espécies focadas na produção de alimentos (STEENBOCK, 2013; NETO et al., 2016), já as adubadeiras, chamadas também de espécies de serviço, tem como sua principal função a produção de biomassa vegetal, a qual é podada e espalhada no solo do sistema. A produção de biomassa tem o intuito de reduzir o aporte de insumos externos, tornando o sistema produtivo mais independente e sustentável. A produção de biomassa nos SAFs é planejada e pode ser otimizada através de sucessivas podas (SCHROTH et al., 1995; BARRIOS E COBO, 2004; SUDMEYER et al., 2012).

Contudo o aporte de biomassa em sistemas agroflorestais ainda precisa ser melhor compreendido, em relação a mensuração e produtividade da biomassa podada. Neste sentido, se faz essencial encontrarmos formas mais fáceis de mensurar a produção de biomassa podada e também entender qual o comportamento de produtividade nessas podas. Lembrando sempre da complexidade dos sistemas agroflorestais e suas composições de espécies.

Através do estudo das relações entre atributos fisiológicos, ecológicos e comportamentais, podemos facilitar a mensuração de biomassa, através de equações alométricas. Essas equações são capazes de estimar informações mais complexas, como produção de biomassa e estoque de carbono, através de informações mais fáceis de serem adquiridas, como o diâmetro do caule por exemplo (GAYON, 2000). Essas equações tem sido cada vez mais utilizadas para estimações de estoque de carbono e de produção de energia através da quantificação de biomassa. (PARRESOL, 1999; ANDRADE; SEGURA, 2008; ANDRADE et al., 2018). Contudo, estudos sobre equações alométricas

² Serviços ecossistêmicos: benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Estes incluem: (1) serviços de provisão como comida e água; (2) serviços de regulação, como regulação climática, controle de inundações e de doenças; (3) e serviços culturais, como recreação, ético e espiritual e educacional. Na definição original da Avaliação Ecossistêmica do Milênio, o conceito inclui desde os serviços de suporte (neste trabalho, considerados funções ecossistêmicas), até os serviços ecossistêmicos finais, bens e valores antropocêntricos. Outras abordagens distinguem os “serviços ecossistêmicos finais” que geram diretamente ganhos para pessoas através de bens, do termo mais amplo, que considera “bens e serviços ecossistêmicos” como sinônimo de serviços ecossistêmicos (DÍAZ et al., 2015).

e produção de biomassa podada ainda são insuficientes em relação ao número de trabalhos publicados e as espécies estudadas (HEVIA et al., 2017). A quantificação de biomassa através de equações alométricas se faz extremamente importante porque o processo para quantificação biomassa é um processo trabalhoso e demorado, já que para isso o material precisa ser podado, recolhido, seco até seu peso constante e então pesado. Sendo assim, a possibilidade de quantificar essa biomassa através de uma medida de diâmetro do caule é necessário para produtores e pesquisadores.

Para entender sistemas completos, como os sistemas agroflorestais, o uso de índices que medem diversidade é bastante utilizado. Índices baseados em atributos funcionais vem se destacando devido à possibilidade de realizar maiores generalizações e por serem parâmetros capazes de prever e entender como os agroecossistemas respondem às alterações das condições ambientais (CADOTTE et al., 2011; DÍAZ & CABIDO, 2001; REICH, 2014). Os atributos funcionais são qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica, a nível de indivíduo que influencia a eficácia biológica atingindo crescimento, reprodução e sobrevivência da população (GILLISON & CARPENTER, 1997; VIOLLE et al., 2007; BRASIL & HUSZAR, 2011; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Como exemplo, o atributo altura, medido em metros, está relacionado à habilidade que aquele indivíduo possui para dispersão de seus diásporos, ou seja, possui impacto em sua capacidade reprodutiva (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Para isso são utilizadas medidas de diversidade e identidade funcional, na primeira considera-se o valor, a amplitude e a abundância dos atributos funcionais do ecossistema (DÍAZ & CABIDO, 2001) e já segunda os valores médios dos atributos ponderados pelas abundâncias das espécies existentes (GRIME, 1998).

Dentro da ecologia funcional são citadas duas hipóteses uteis para entendermos o funcionamento de sistemas complexos a partir dos atributos funcionais. A primeira é a hipótese de razão de massa, que nos diz que, o funcionamento de um agroecossistema é guiado pelos atributos funcionais das espécies dominantes, ou seja, neste caso a identidade funcional tem grande importância para o entendimento dos SAFs (GRIME, 1998; GARNIER et al. 2004). Já a segunda hipótese, a da complementariedade de nichos, diz que a diversidade de atributos funcionais é mais importante para o sucesso daquele agroecossistema, ou seja, a diversidade funcional (HOOPER; DUKES 2004; DÍAZ et al. 2007).

Desde maneira, compreender a produção de biomassa podada em sistemas produtivos complexos, como os SAFs pode ser e é uma tarefa desafiadora. A partir de metodologias mais simples para a mensuração dessa produção, como as equações alométricas e índices mais generalistas para o entendimento desse funcionamento, como a diversidade e identidade funcional podemos de forma mais ampla entender a quantidade e qualidade da produção de biomassa destinada a poda. Sendo assim, este projeto de dissertação tem como objetivo desenvolver equações alométricas para estimar a produção de biomassa podada de espécies comumente utilizadas em sistemas agroflorestais no Brasil e também mostrar qual o impacto das hipóteses de razão de massa e complementariedade de nichos, através da diversidade e identidade funcional, sobre esses sistemas agroflorestais em relação a sua produção de biomassa podada.

2 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o efeito dos atributos funcionais e da diversidade funcional sobre a produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais;
- Gerar equações alométricas para estimar quantidade de produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais.

2.1. Objetivos específicos

- Avaliar qual medida de diversidade tem maior influência na produção de biomassa podada, identidade funcional ou diversidade funcional;
- Avaliar o efeito da diversidade funcional sobre a produção de biomassa podada nos sistemas agroflorestais;
- Determinar, através da identidade funcionais, quais atributos funcionais mais influenciam a produção de biomassa para a poda;
- Construir equações alométricas capazes de estimar produção de biomassa podada.

3 HIPÓTESES

- A diversidade funcional de atributos em sistemas agroflorestais tem efeito positivo na produção potencial de biomassa;
- Sistemas agroflorestais com folhas maiores, com maior área foliar específica, maior conteúdo de matéria seca, com maior densidade específica do caule e com maior altura de plantas possuem maior capacidade de produzir biomassa;
- A diversidade funcional possui maior influência na produção de biomassa podada do que a identidade funcional.
- Existe uma relação significativa entre o diâmetro e o comprimento do galho podado com sua biomassa capaz de gerar equações alométricas por espécie para a estimativa de biomassa de cada galho podado.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Biodiversidade, Diversidade e Identidade Funcional

Biodiversidade é definida como “a variabilidade entre organismos vivos de todas as fontes. Isso inclui diversidade dentro das espécies, entre espécies e ecossistemas.” (UNCED, 1992). As atividades humanas, principalmente a agricultura e o uso intensivo da terra vêm alterando os ecossistemas em diversas escalas. Dentre essas alterações existe a redução expressiva de biodiversidade, modificando assim, a estrutura biótica e composição de comunidades ecológicas. A redução de biodiversidade é causada por diversos fatores como a fragmentação e perda de habitat (FAHRIG, 2003), exploração massiva de recursos biológicos, poluição, introdução de espécies invasoras e exóticas e por fim o aquecimento global (BARBIER et al. 1995; HOOPER et al., 2005; ISBELL et al., 2017).

A biodiversidade pode ser descrita em termos de diversidade genética, de espécies e de ecossistemas (BARBIER et al. 1995). A abordagem mais comumente utilizada para medir biodiversidade é baseada em índice de riqueza de espécies (KREBS 1999; CARDINALE et al., 2012). Contudo ainda não somos capazes de entender o funcionamento dos ecossistemas através de medidas como a riqueza de espécies, por exemplo. As teorias ecológicas tradicionais ainda não são capazes de predizerem, com certeza, o comportamento de comunidades perante às mudanças ambientais, por exemplo, no que diz respeito a estruturas e funcionalidades destas comunidades (LOREAU et al., 2001; RICOTTA, 2005).

Em contrapartida a proposta do uso dos atributos funcionais como parâmetros para prever e entender como os ecossistemas respondem às alterações das condições ambientais vem se mostrando mais eficiente quando comparado ao uso da riqueza de espécies (CADOTTE et al., 2011; DÍAZ & CABIDO, 2001; REICH, 2014).

Atributos funcionais do inglês “*functional traits*” são definidos em nível de indivíduo, como qualquer característica capaz de ser mensurada, seja ela morfológica, fisiológica ou fenológica e que é capaz de influenciar indiretamente a performance da espécie, atingindo crescimento, reprodução e sobrevivência da população (GILLISON & CARPENTER, 1997; VIOLLE et al., 2007; BRASIL & HUSZAR, 2011; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Os atributos funcionais podem ser classificados como atributos de efeito e atributos de resposta. Os atributos de efeito são considerados aqueles capazes de interferir

no funcionamento do ecossistema, enquanto que os atributos de resposta são aqueles que mostram a resposta das populações ou comunidades as variações do meio ambiente (LAVOREL; GARNIER, 2002; VIOLLE et al., 2007). O principal intuito de considerar atributos funcionais é a possibilidade de realizar maiores generalizações do que quando se é utilizado abordagens de classificação taxonômicas. Determinadas características funcionais levam diferentes espécies a responder igualmente a condições ambientais (GILLISON & CARPENTER, 1997; VIOLLE et al., 2007; BRASIL & HUSZAR, 2011; PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

Neste sentido, cada atributo funcional está relacionado a alguma função da planta em relação ao ecossistema em que está inserido, na sua interferência neste sistema, como em sua resposta às condições do meio (Quadro 1).

Quadro 1. Lista de atributos funcionais e suas respectivas funções.

Atributo funcional	Função
Altura da planta adulta (m)	Habilidade de interceptação de luz e dispersão de diásporos.
Densidade específica do caule (mg mm ⁻³)	Taxa de crescimento, acúmulo de C, estabilidade, hidráulica, entre outros.
Área foliar (mm ⁻²)	Resposta a estresse nutricional, ambiental e distúrbios.
Área foliar específica (mm ² mg ⁻¹)	Potencial fotossintético, concentração de nitrogênio, entre outros.
Conteúdo de matéria seca foliar (mg g ⁻¹)	Taxa de crescimento, resistência, longevidade da folha, entre outros.
Concentração de nitrogênio foliar (mg g ⁻¹)	Potencial fotossintético

Fonte: Adaptado de ecológicas (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013; DIAZ et al., 2016)

Seguindo a lógica utilizada para a medida de riqueza de espécies, a primeira medida utilizada para mensurar diversidade funcional foi a riqueza de grupos funcionais. Onde os indivíduos são alocados em determinados grupos funcionais seguindo suas semelhanças morfológicas ou fisiológicas. Assim, mede-se o número total de grupos com diferentes atributos funcionais do ecossistema, obtendo-se a riqueza funcional (LAVOREL et al., 1997; PETCHEY & GASTON, 2002; GARNIER; NAVAS, 2012). Contudo, existe a problemática sobre como a categorização é realizada, o quão similares

devem ser os indivíduos para estarem no mesmo grupo. No entanto, existem métodos analíticos desenvolvidos para retirar da metodologia a subjetividade de quem está realizando a mensuração (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009; CALAÇA & GRELE, 2016). Outro ponto de atenção é que essa metodologia não é capaz de medir as diferenças dentro dos próprios grupos funcionais ou a abundância destes grupos no ecossistema mensurado (BOTTA-DUKÁT, 2005).

Para atender as lacunas existentes na medida de riqueza funcional, a diversidade funcional começou a ser medida através de medidas contínuas. Medindo a dispersão dos atributos funcionais das espécies em relação aos atributos funcionais das demais espécies dentro da comunidade, ou seja, mensuram a distância de pontos em um espaço n-dimensional de funcionalidades (CIANCIARUSO; SILVA; BATALHA, 2009). A diversidade funcional é medida considerando o valor, a amplitude e a abundância dos atributos funcionais no ecossistema, onde os atributos funcionais são características dos organismos consideradas importantes para entender a resposta ao ambiente e os efeitos no funcionamento do ecossistema; não mede apenas a existência ou não de determinada funcionalidade do organismo, mede também a amplitude e a abundância desta funcionalidade (DÍAZ & CABIDO, 2001)

Existem diferentes índices para calcular diversidade funcional, o índice de entropia quadrática de RAO é considerado o mais apropriado. Nele é medido a dissimilaridade entre as espécies do sistema, baseando-se no conjunto de atributos funcionais. Essas medidas funcionais são calculadas através da raiz quadrada do complemento do índice de similaridade de Gower, obtendo uma matriz de distância funcionais com métricas euclidianas (BOTTA-DUKÁT, 2005; RICOTTA, 2005; PILLAR et al., 2013).

Outra maneira de analisar o ecossistema é a utilização da identidade funcional, isto é, a composição das comunidades medida pelos valores médios dos atributos ponderados pelas abundâncias das espécies existentes (GRIME, 1998). Uma das estratégias utilizadas para mensurar a identidade funcional de um ecossistema é o CWM – *Community Weighted Mean*, em português média ponderada do atributo da espécie pela sua abundância na comunidade. Esse valor é calculado para cada atributo avaliado e nele é levado em consideração todas as espécies do sistema e a abundância dessas espécies. Por exemplo, altos valores para atributos de regeneração, como número ou massa de sementes, terá maiores chances de se regenerar em condições adversas (RICOTTA; MORETTI, 2011). O uso da identidade funcional vai ao encontro à hipótese da razão de

massa (TOBNER et al., 2016), onde quanto maior a abundância das espécies, maior a influência desta espécie sobre o ecossistema onde está inserida (GRIME, 1998).

4.2. Sistemas Agroflorestais

Segundo a legislação brasileira, sistema agroflorestal (SAF) é definido como “sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes” (BRASIL, 2009; 2011). Também pode ser definido de forma mais complexa como “uma paisagem formada a partir de intervenções baseada na ideia de sustentabilidade difundida por Götsch (1997) – para uma intervenção ser sustentável o balanço de energia complexificada e de vida é positivo, em uma área definida, cuja cobertura anterior pode ser um pasto, uma lavoura ou uma floresta secundária, em diferentes estágios de sucessão” (STEENBOCK et al., 2013). A definição de Otegbeye (2002) é bastante interessante, sendo o sistema produtivo onde árvores são incluídas em outros sistemas de uso da terra, essas árvores são capazes de fornecer biomassa e serviços ambientais, trazendo mudanças positivas no ambiente e retorno econômico aos produtores. Neste sentido existem diferentes tipos de SAFs, variando em sua complexidade e diversidade de espécies (MALÉZIEUX et al., 2009).

Os SAFs têm se mostrado uma importante ferramenta para a produção de alimentos, soberania alimentar, redução de impactos gerados pela industrialização e conservação da flora e fauna (MARTINS & RANIERI, 2014). Segundo o Protocolo de Kyoto, em 1997 e o Acordo de Paris em 2015, os sistemas agroflorestais são vistos como um dos sistemas produtivos capazes de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (PLATIS et al., 2019; ABBAS et al., 2017). Serviços ecossistêmicos e benefícios ambientais podem ser oferecidos pelas agroflorestas, entre eles estão sequestro de carbono, conservação da biodiversidade, enriquecimento do solo e melhora na qualidade do ar e da água. O sistema agroflorestal é um sistema agrícola capaz de oferecer ao mesmo tempo proteção de solo e dos recursos hídricos, sem deixar de ter alta produção de alimentos. Ou seja, é possível alimentar a população e proteger os recursos naturais (JOSE, 2009). Neste sentido, pesquisas mostram que estes sistemas são capazes de amenizar a lixiviação e escoamento superficial de nutrientes como fósforo e nitrogênio, protegendo assim recursos hídricos e melhorando a capacidade produtiva dos solos (PAVLIDIS; TSIHRINTZIS, 2018).

Na figura 1 são apresentados todos os impactos que podem ser gerados por um sistema composto por múltiplas espécies, seguindo a lógica de sistemas agroflorestais diversos (MALÉZIEUX et al., 2009).

Figura 1. Processos e serviços fornecidos pelos sistemas de múltiplas espécies.



Fonte: Traduzido de MALÉZIEUX et al., 2009.

Além de todos os benefícios ambientais e produtivos que a agrofloresta é capaz de gerar à sociedade, os SAFs ainda podem ser agentes de equidade entre homens e mulheres dentro da produção agrícola, dando mais visibilidade para as mulheres dentro deste cenário ainda predominantemente masculino (KIPTOT; FRANZEL, 2012). Estes sistemas também podem representar a garantia de segurança alimentar para comunidades que vivem em situações de alto impacto pelas mudanças climáticas e em solos degradados, por meio sistemas agrícolas de alta resiliência (MBOW et al., 2014).

4.3. Poda

Em sistemas convencionais de produção de frutas e madeira, a necessidade de poda já é bem estabelecida e possui funções bastante claras. Dentre estas destaca-se a otimização da produção de frutos para espécies frutíferas e a melhoraria da qualidade do fuste para produção de madeira.

Dentro da fruticultura, árvores menores facilitam os manejos necessários, como inspeções de pragas, pulverizações e até a colheita dos frutos. Neste sentido, a poda dessas árvores com finalidade de manter determinada altura é capaz de reduzir custos de produção (IKINCI, 2014). Além das facilidades de manejo, a poda também é capaz de proporcionar aumento no número de flores, aumento no número de frutos e aumento na concentração de sólidos solúveis, contudo, também pode causar frutos de menor tamanho e diminuição da resistência ao frio. Sendo que os benefícios ou não da poda estão diretamente relacionados ao período e severidade deste manejo (MARINI, 1986; DAY; DEJONG; HEWITT, 1989; BAYAZIT; IMARAK; KUDEN, 2012; IKINCI, 2014).

Já na silvicultura, o manejo de poda é realizado principalmente com foco na qualidade da madeira. Aumentando a extensão de madeira limpa, ou seja, madeira que não possua defeitos provenientes dos nós, que surgem devido as novas brotações. Essa poda aumenta a qualidade da madeira vendida, proporcionando maior retorno financeiro (BRAZ et al., 2017). Esse tipo de manejo é realizado também em árvores do sistema ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, onde a poda é feita de maneira a proporcionar melhor qualidade de madeira (Floresta), aumentar a entrada de luz para a produção agrícola (Lavoura) e também favorece a movimentação dos animais (Pecuária) (TONINI et al., 2016).

Nos sistemas agroflorestais a poda pode ser realizada com diversas funções, como a produção de frutos e madeira, porém na maioria das vezes, essa poda está relacionada a produção de biomassa, através de espécies adubadeiras, ou seja, espécies que tem como principal função a produção de biomassa. A biomassa podada nestes sistemas é capaz de devolver ao solo nutrientes que alimentaram outras espécies no sistema (KANG; CAVENESS; TIAN, et al., 1999; SAMSUZZAMAN, GARRITY, QUINTANA, 1999; DILLA, SMETHURST, BARRY et al., 2019). A segunda função da poda em SAFs é a abertura de luz para as espécies do sistema. Como o sistema é construído de maneira estratificada e com alta densidade de indivíduos, a poda se faz necessária para direcionar os indivíduos de acordo com a necessidade de luz de cada espécie (NIETHER, et al., 2018; DILLA, SMETHURST, BARRY et al., 2019).

4.4. Biomassa

A biomassa vegetal de um sistema pode ser subdividida em biomassa acima do solo (AGB – *Above Ground Biomass*), que se refere ao tronco, galhos, folhas, frutos, sementes e também serapilheira, e abaixo do solo (BGB – *Below Ground Biomass*), incluindo

principalmente as raízes (MAAREL & TITLYANOVA, 1989). A AGB representa um indicador chave dentro de sistemas vegetais complexos, estando envolvida com balanço de carbono – sequestro ou emissão, devido a capacidade que um sistema vegetal tem em estocar carbono em suas estruturas (ZHOU & YAMAGUCHI, 2018). Em continuidade, a AGB é capaz de determinar a “criação de animais” através do que é chamado de capacidade de carga herbívora, ou seja, a presença de animais no sistema depende dos organismos vegetais e suas quantidades disponíveis (YANG et al., 2009). Uma característica importante para medir a performance e aptidão de espécies e ecossistemas é a biomassa vegetativa, juntamente com rendimento reprodutivo e a taxa de sobrevivência da planta (YANG et al., 2009; ZHOU & YAMAGUCHI, 2018).

Essa biomassa quando podada é levada ao solo, sendo capaz de retornar seus nutrientes a este ecossistema, estando assim, envolvida na ciclagem de diversos nutrientes de extrema importância para a sobrevivência das espécies que ali vivem (MARTINS et al., 2013). Porém a quantidade de nutrientes provenientes desta biomassa varia de acordo com a produtividade de biomassa e com a concentração de nutrientes do material vegetal, folhas e galhos. Produtividade e concentração de nutrientes da biomassa estão relacionadas com o clima, tipo de solo, com as espécies podadas e de acordo com qual estrutura da planta foi podada, como também com o regime de poda realizado. Neste sentido, essa biomassa pode conter todos os nutrientes necessários para garantir um solo de qualidade e que atenda as demandas nutricionais das plantas, com exceção do fósforo, para as demais plantas do sistema, no entanto essa disponibilização de nutrientes deve estar em sincronia com as necessidades de cada espécie (PALM, 1995).

4.5. Equações Alométricas

Dentro da biologia, o estudo das relações de escala para atributos morfológicos, fisiológicos, ecológicos e comportamentais é chamado de alometria (PARRESOL, 1999). Esse estudo se dá através das formas e dos processos dos organismos, podendo ter dois significados: quando o crescimento de um organismo pode influenciar formas e processos e talvez o mais comum, quando o crescimento de uma parte do organismo influencia o crescimento de outra parte deste organismo (HIGUCHI; LIMA; TEIXEIRA, 2006).

As chamadas equações alométricas são modelos matemáticos provenientes de análises de regressão, onde existe uma relação entre uma variável dependente (resposta)

e uma ou mais variáveis independentes (preditoras). Através destes modelos de regressão é possível estimar uma variável de difícil mensuração, como biomassa através de uma variável de fácil mensuração, como diâmetro (HIGUCHI; RAMM, 1985; WEAVER; GILLESPIE, 1992).

Uma das principais finalidades em desenvolver equações alométricas é tornar mais fácil a mensuração de medidas de difícil acesso, através de medidas indiretas. Essas relações podem ser lineares, logarítmicas, senoidais entre outros comportamentos que podem ser encontrados na natureza (PARRESOL, 1999; GAYON, 2000; ANDRADE; SEGURA, 2008; ANDRADE et al., 2018).

Os estudos de alometria em plantas e ecossistemas são importantes para a compreensão de aspectos ecológicos e evolutivos das espécies, sendo capazes de gerar ferramentas de previsão dentro da ecologia (BOND et al. 1999). As características de desenvolvimento do indivíduo, sejam morfológicas ou fisiológicas, variam de acordo com a espécie, com fatores genéticos, com a fase de desenvolvimento do indivíduo, com o microambiente onde aquele indivíduo está inserido e sobre outros fatores externos que os indivíduos possam estar sobre pressão (CERVEIRA, 2015).

O desenvolvimento de equações alométricas é difundido em diversas áreas, em específico a área florestal, são amplamente utilizadas para estimativas de biomassa em pé e estoque de carbono. Contudo ainda não existem equações alométricas específicas para determinadas espécies, determinadas regiões e de forma mais escassa ainda para produção de biomassa podada (ALEXANDER et al., 2011; NAIR, 2011; VAN BREUGEL et al., 2011; CIFUENTES JARA, M., MORALES, D., HENRY, M. 2013; HEVIA et al., 2017).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Abordagem Experimental

Este experimento foi desenvolvido com auxílio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com o projeto CNPq Universal 409638/2016-1, projeto intitulado “Efeitos da diversidade funcional sobre tradeoffs e sinergias entre múltiplos serviços ecossistêmicos de sistemas agroflorestais”, que tem como principal objetivo compreender os mecanismos ecológicos responsáveis pelo sucesso de alguns consórcios agroflorestais (através de sua composição de espécies e conjunto de atributos funcionais) para gerar integração entre múltiplos serviços ecossistêmicos. O projeto teve seu início em 2016 e é conduzido pelo Laboratório de

Ecologia Aplicada da Universidade Federal de Santa Catarina (LEAp/UFSC), com membros da graduação, mestrado e doutorado.

Trabalhos concluídos:

1) Jéssyca Barroso Borges. Conclusão: 2019. Efeitos da identidade e diversidade funcionais sobre o acúmulo de serapilheira e a respiração basal em um agroecossistema no Sul do Brasil. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

2) Renata Rodrigues Lucas. Conclusão: 2019. Efeitos da estrutura funcional de consórcios agroflorestais agroecológicos em estágio inicial sobre a cobertura total e atributos funcionais de plantas espontâneas. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina.

3) Diego dos Santos. Conclusão: 2020. Complementaridade de nichos e multifuncionalidade de sistemas agroflorestais sucessionais. Tese (Doutorado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina.

3) Vanessa Andreatta Martins. Conclusão: 2021. Efeito da composição funcional de sistemas agroflorestais sucessionais sobre propriedades biogeoquímicas de solo arenoso hidromórfico. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

4) Fabíola Mendes Martins. Conclusão: 2021. Efeitos da estrutura funcional de Sistemas Agroflorestais sobre as relações C/N nos tecidos vegetais e serapilheira. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

5) Djalma Roecker Júnior. Conclusão: 2022. Efeitos da Diversidade Funcional de Sistemas Agroflorestais sobre Estratégias Ecológicas de Plantas Espontâneas. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina.

Trabalhos em andamento:

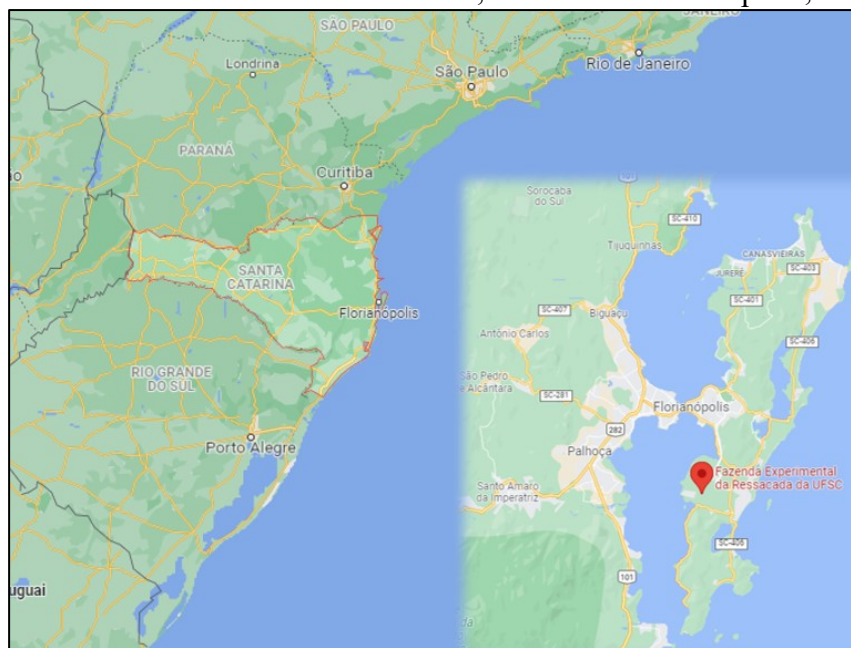
1) Marinice Teleginski. Início: 2017. Efeito da diversidade funcional vegetal sobre serviços ecossistêmicos de provisão e regulação em sistemas agroflorestais. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. (Orientador).

2) Thomás Floriano Boscaine. Início: 2020. Efeito da diversidade e identidade funcional sobre a diversidade de plantas espontâneas com potencial alimentício e medicinal no início da sucessão agroflorestal. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

5.2. Área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Ressacada, pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), situada no estado de Santa Catarina, cidade de Florianópolis, segundo as coordenadas de localização - 27°41'7.26"S 48°32'28.19"O (Figura 2).

Figura 2. Localização da Fazenda da Ressacada, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, situada em Florianópolis, SC, Brasil.



Fonte: Dados do mapa © 2021 Google

O local é caracterizado como sub-região de clima subtropical constantemente úmido (classificação climática Cfa - Köppen; WREGGE et al., 2011, ALVARES et al. 2013). A temperatura média anual varia entre 17 e 25° C e a pluviometria entre 1270 e 1600 mm por ano (conjunto de dados de 2008-2017 da estação meteorológica vizinha do Aeroporto Internacional de Florianópolis). A classificação do solo é dada como Neossolo Quartsarênico Hidromórfico Típico (SANTOS, 2013), sendo predominantemente constituído por áreas com alto teor de matéria orgânica e alto teor de areia, o que

caracteriza o solo com coloração mais escura. Este solo teve sua formação através de sedimentação marinha estando apenas 2 a 4 metros acima da altura do mar.

Tabela 1. Análise do solo na área experimental antes da instalação do experimento. Profundidade: 0-20cm. Setembro de 2016.

% Argila m/v	pH- Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K	M.O. %	Al cmolc/d	Ca cmolc/d	Mg cmolc/dm
10	5,4	5,6	8,0	16,0	3,7	0,4	1,1	0,9
H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	% Saturação na CTC		Soma Bases	Relações			
		Al	V	S	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
6,7	8,74	15,72	23,35	2,04	1,22	26,88	21,99	

5.3. Delineamento experimental

O experimento foi implantado contendo três tratamentos e seis repetições em blocos, sendo assim, dezoito parcelas quadradas de dimensão de 9 x 9 m (Figura 3). O bloqueamento foi utilizado devido a diferença de altura do lençol freático na área do experimento. Cada tratamento é composto por espécies que apresentam diferentes níveis de nitrogênio foliar. O tratamento A (alto) é composto por seis espécies com nitrogênio foliar maior que 25mg/g (2,5%), o tratamento B (baixo) é composto por seis espécies com nitrogênio foliar menor que 25mg/g e o tratamento M (médio) é composto por três espécies com nitrogênio foliar maior que 25mg/g e três espécies com nitrogênio foliar menor que 25mg/g. Os tratamentos foram alocados de forma aleatorizada dentro dos blocos.

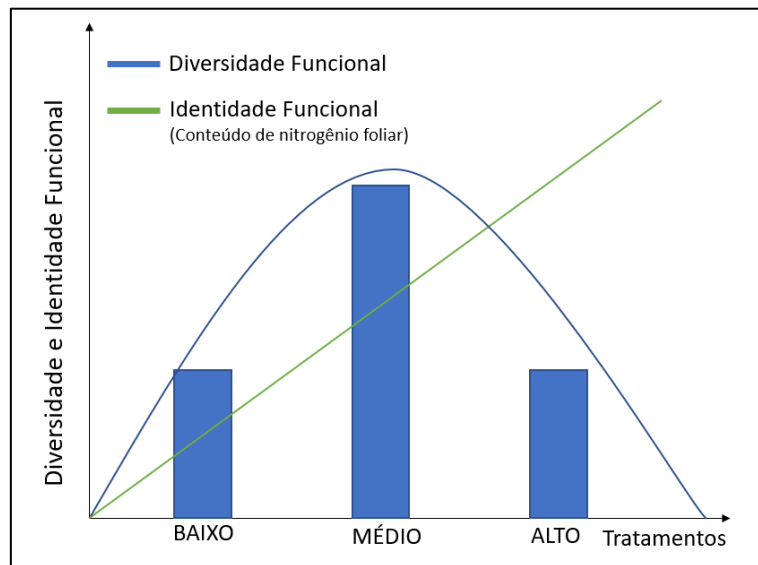
Figura 3. Disposição e dimensões das parcelas, dos tratamentos experimentais dentro de cada bloco na área experimental. As letras dentro das parcelas representam os tratamentos B - Baixo, M - Médio e A - Alto nitrogênio foliar.



Fonte: imagem manipulada do Google Earth, 2019

Além dos tratamentos, o experimento também foi construído para entender o funcionamento da composição de espécies quanto a sua diversidade e identidade funcional. Desta maneira, o experimento segue a lógica apresentada na figura 4 tendo maior diversidade funcional no tratamento Médio, quando comparado aos tratamentos Baixo e Alto. Isso acontece porque no tratamento médio existe maior quantidade de espécies que diferem em seus atributos funcionais. Já para a identidade funcional aumenta com o aumento da concentração de N foliar das espécies.

Figura 4. Lógica na qual o experimento foi planejado, onde a identidade funcional cresce com o aumento do atributo N-foliar e a diversidade funcional é maior no tratamento médio.

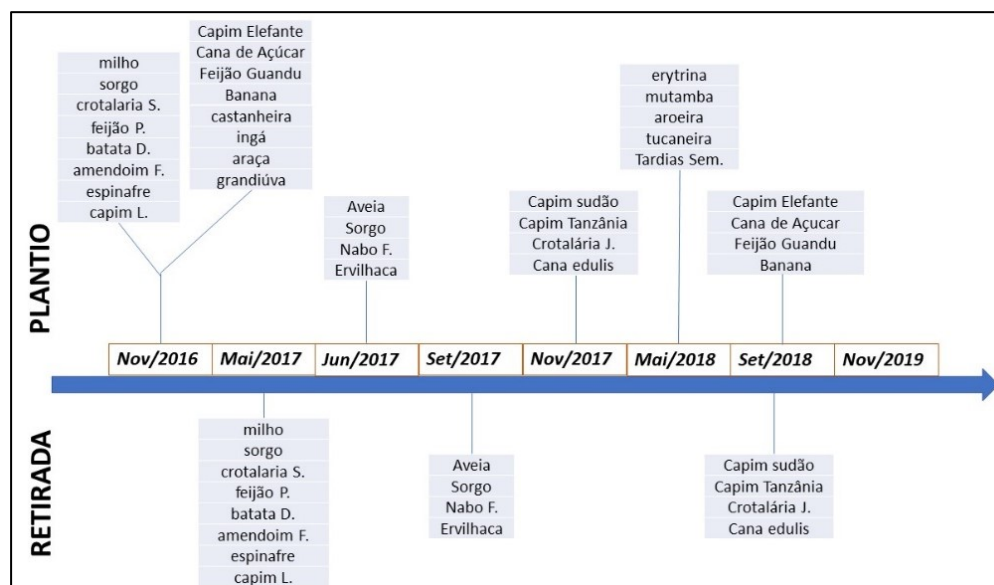


As coletas se iniciaram quando o experimento estava com 28 meses desde sua implantação e finalizaram com 40 meses desde a implantação. Anteriormente a esta pesquisa, o experimento teve seu manejo conduzido de acordo com o que é realizado em sistemas agroflorestais sucessionais, como podas, roçadas, desbastes e substituição de espécies conforme o período sucessional de SAF.

Para a instalação do experimento a área foi revolvida utilizando uma enxada rotativa. Posteriormente em novembro de 2016 houve plantio manual de espécies de verão nas linhas, sendo elas milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), crotalária *spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) nas faixas pré-determinadas para ocupação por herbáceas eretas. Nesta mesma época também foram implantados nas faixas de herbáceas basais, batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C.Greg), espinafre (*Tetragonia tetragonioides* (Pall.) Kuntze), capim limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), e nas faixas de arbustos foram plantadas banana (*Musa paradisiaca* L.), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) nas linhas centrais ao lado da linha de árvores. No mesmo período na linha das arbóreas foram plantadas castanheira da praia (*Pachira glabra* Pasq.), ingá (*Inga semialata* (Vell.) C.Mart), araçá (*Psidium cattleianum* Afzel. ex Sabine) e grandíuva (*Trema micrantha* (L.) Blume) (Anexo 1). Em maio de 2017, essas espécies anuais foram roçadas e em

seguida, em junho de 2017, a área recebeu o plantio de espécies de inverno, aveia preta (*Avena sativa* Schreb.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), nabo forrageiro (*Brassica rapa* subsp. *rapa*) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.) (faixa das herbáceas eretas), as quais foram roçadas em novembro de 2017 e substituídas por capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), capim tanzânia (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K.Simon & S.W.L.Jacobs), crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e ararutão (*Canna edulis*) (Anexo 2). Em maio de 2018 nas linhas de árvores foram adicionadas novas espécies arbóreas, intercaladas com as já existentes, sendo elas: eritrina (*Erythrina speciosa*), mutamba (*Guazuma ulmifolia*), aroeira (*Schinus terebinthifolius*), tucaneira (*Citharexylum myrianthum*). E uma muvuca – mistura de sementes de diferentes espécies - de sementes de espécies tardias foi plantada em cada berço junto com as mudas recém-plantadas. Por fim em setembro de 2018 as espécies de capim sudão, capim tanzânia, crotalária juncea e ararutão foram substituídas por capim elefante, cana de açúcar, feijão guandu e banana, chegando à composição atual do experimento em questão (Figura 5) (SILVA, 2020).

Figura 5. Linha do tempo das espécies que foram plantadas no experimento e as que foram roçadas e saíram do sistema.



No atual cenário do experimento para o qual as espécies anuais foram substituídas por espécies perenes, cada parcela contém linha centrais de arbóreas e linhas laterais de adubadeiras com diferentes idades. Uma linha implantada em 2016 e 3 linhas implantadas em 2018. As espécies presentes podem ser visualizadas no quadro 2 e sua disposição nos anexos 3 e 4.

Quadro 2. Espécies presentes no experimento. ADUB = Adubadeiras (Arbustivas ou herbáceas gigantes); ARV = Árvores; A = alta concentração de nitrogênio foliar; B = baixa concentração de nitrogênio foliar; M = combinação de alta e baixa concentração de nitrogênio foliar.

Nome Científico	Nome Popular	Habito de Crescimento	N Foliar	Tratamentos	Ano de Implantação
<i>Cajanus Cajan (L.) Huth</i>	Feijão Guandu	ADUB	ALTO	A e M	2016; 2018
<i>Pennisetum purpureum Schumach.</i>	Capim Elefante	ADUB	BAIXO	B e M	2016; 2018
<i>Saccharum officinarum L.</i>	Cana de Açúcar	ADUB	BAIXO	B	2016; 2018
<i>Musa paradisiaca L.</i>	Bananeira	ADUB	ALTO	A	2016
<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá	ARV	BAIXO	B	2016
<i>Pachira glabra</i>	Castanheira da praia	ARV	BAIXO	B e M	2016
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Tucaneira	ARV	BAIXO	B e M	2016
<i>Schinus therebintifolius</i>	Aroeira	ARV	BAIXO	B	2016
<i>Inga semialata</i>	Ingá	ARV	ALTO	A e M	2016
<i>Trema micrantha</i>	Grandiúva	ARV	ALTO	A	2016
<i>Erythrina speciosa</i>	Eritrina	ARV	ALTO	A e M	2016
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	ARV	ALTO	A	2016

5.4. Coleta de dados

5.4.1. Metodologia de poda

Para padronizar a coleta de biomassa e também facilitar futuros manejos foram estabelecidos critérios, com base na literatura e experiência de agricultores e dos integrantes de laboratório, para a realização das podas. No caso das espécies adubadeiras a poda é realizada no começo do período da floração, esse momento foi escolhido por dois motivos, o primeiro porque é um momento onde a biomassa apresenta maior concentração de nutrientes e o segundo para evitar dispersão de propágulos destas espécies, mantendo assim a estrutura proposta para o experimento. O capim-elefante e o cana-de-açúcar tiveram sua touceira podada por completo na base. Já o feijão-guandu teve todos os seus galhos podados, mantendo-se o tronco principal com no mínimo 3 brotações para que a nova biomassa continue crescendo. A bananeira teve sua touceira podada por completo, seguindo com a poda na base do pseudo-caule. Todos os indivíduos da família foram retirados, mãe, filhas e netas.

Para a poda das árvores foi desenvolvido um fluxograma considerando período do ano (verão ou inverno), a tolerância da espécie à poda e o objetivo da árvore no sistema (Dominância apical ou Crescimento arbustivo) (Quadro 3). Considerando a época como verão as intensidades de poda são: 10% de poda para espécies com baixa tolerância a poda, 20% para média tolerância e 30% para espécies com alta tolerância. Para o inverno, essas porcentagens de poda dobram, sendo 20%, 40% e 60% respectivamente. Essa porcentagem diz respeito a quantidade de biomassa que será podada da copa da árvore. Após essas considerações, alguns critérios (Quadro 4) são seguidos até que a porcentagem de poda determinada seja atingida. Vale ressaltar que as porcentagens estabelecidas foram a melhor maneira encontrada para nortear a poda e ser a mais padronizada e objetiva possível, porém é sabido que essa metodologia não consegue ser 100% assertiva.

Para as espécies arbóreas, todos os indivíduos do experimento que sofreram poda tiveram seu material amostrado para a quantificação da biomassa.

Quadro 3. Classificação das árvores do experimento nas categorias de poda pré-estabelecidas.

Nome científico	Nome popular	Categoria de poda
<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá	Crescimento arbustivo
<i>Pachira glabra</i>	Castanheira da praia	Crescimento com dominância apical
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Tucaneira	Crescimento com dominância apical
<i>Schinus therebintifolius</i>	Aroeira	Crescimento arbustivo
<i>Inga semialata</i>	Ingá	Crescimento arbustivo
<i>Trema micrantha</i>	Grandiúva	Crescimento com dominância apical
<i>Erythrina speciosa</i>	Eritrina	Crescimento arbustivo
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	Crescimento com dominância apical

Quadro 4. Ordem e descrição das regras seguidas para a realização da poda durante as coletas.

Ordem	Regra para a poda	Crescimento arbustivo	Crescimento com dominância apical
1	Considerar estrato e plantas vizinhas	x	x
2	Manter galhos com potencial frutífero	x	-
3	Retirar galhos doentes	x	x
4	Retirar galhos ladrão/chupões	x	x
5	Retirar galhos cruzados	x	x
6	Subir a saia (30% da altura total da planta) *	-	x
7	Retirar galhos que atrapalhem a passagem na entrelinha	x	x

*O manejo de “subir a saia” é realizado com a finalidade de deixar a copa da árvore mais alta, permitindo o crescimento de outras espécies em baixo. O valor de 30% significa que da altura total da planta, 30% desta altura na parte inferior deve ficar sem galhos.

5.5. Análises Estatísticas

Para a análise dos dados experimentais foi utilizado o software estatístico R versão 4.0.5 (R Development Core Team, 2021). Inicialmente foi realizado uma análise exploratória dos dados, entendendo possíveis padrões ou *outliers*. Posteriormente, os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram verificados utilizando visualização gráfica e na grande maioria dos casos houve necessidade de transformação logarítmica. As demais análises serão descritas nos capítulos.

6. CAPÍTULO I: Equações alométricas para estimar produção de biomassa podada em espécies comumente usadas em sistemas agroflorestais no subtropico

6.1. Resumo

Entender a produção de biomassa de sistemas agroflorestais (SAFs) tem se mostrado essencial, já que tem papel importante para o manejo e acúmulo de matéria orgânica dentro do sistema, acelerando o processo de sucessão. Esses sistemas ainda apresentam uma alternativa sustentável à agricultura convencional. Por se tratar de uma quantificação trabalhosa, a produtividade de biomassa é muitas vezes estimada através de equações alométricas, as quais, na maioria das vezes usam diâmetro como variável preditora. Contudo equações alométricas para estimativa de biomassa podada em sistemas agroflorestais ainda são inexistentes. Esse estudo teve como objetivo desenvolver equações alométricas capazes de estimar a produção de biomassa podada de espécies arbóreas e arbustivas comumente usadas como adubadeiras em sistemas agroflorestais no subtropico. Este experimento foi conduzido em sistemas agroflorestais sucessionais localizados em Florianópolis – Santa Catarina, no sul do Brasil. As espécies avaliadas foram: *Inga semialata*, *Psidium cattleianum*, *Schinus terebinthifolia*, *Citharexylum myrianthum*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Erythrina speciosa.*, *Musa spp.*, *Saccharum officinarum*, *Pennisetum purpureum* e *Cajanus cajan*. Modelos lineares polinomiais aninhados com variáveis lineares e transformadas foram testados entre a variável resposta (biomassa podada) e as variáveis preditoras (diâmetro e comprimento do galho podado). Para avaliação dos modelos foi utilizado o critério de informação de Akaike (AIC), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erros dos resíduos padronizados e erros relativos. Foram construídas equações alométricas para todas as espécies. Quase todos os modelos apresentaram coeficiente de determinação ajustado maior que 0.80, com exceção das espécies *Saccharum officinarum* e *Pennisetum purpureum*, as quais obtiveram 0.75 e 0.73 respectivamente. Além de equações alométricas capazes de prever biomassa podada de cada galho, foi possível concluir que pelas plantas serem indivíduos modulares, os galhos se comportam da mesma maneira que a planta inteira, sendo possível prever biomassa do galho através de seu diâmetro, da mesma forma como é feita a estimativa de biomassa total. Através destes resultados, a poda pode ser melhor planejada com base no volume disponível de biomassa, garantindo assim, maior deposição de material vegetal sobre o solo, aceleração do ciclo produtivo e menores gastos de mão de obra.

6.2. Abstract

Understanding the biomass production of agroforestry systems (SAFS) has proved essential, as it plays an important role in the management and accumulation of organic matter within the system, accelerating the succession process. These systems still present a sustainable alternative to conventional agriculture. As it is a laborious quantification, biomass productivity is often estimated through allometric equations, which most often use diameter as a predictor variable. However, allometric equations for estimating pruned biomass in agroforestry systems are still lacking. This study aimed to develop allometric equations capable of estimating the pruned biomass production of tree and shrub species commonly used as fertilizers in agroforestry systems in the subtropics. This experiment was carried out in successional agroforestry systems located in Florianópolis – Santa Catarina, southern Brazil. The species evaluated were: *Inga semialata*, *Psidium cattleianum*, *Schinus terebinthifolia*, *Citharexylum myrianthum*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Erythrina speciosa*., *Musa spp.*, *Saccharum officinarum*, *Pennisetum purpureum* and *Cajanus cajan*. Polynomial linear models nested with linear and transformed variables were tested between the response variable (pruned biomass) and the predictor variables (pruned stem diameter and length). To evaluate the models, the Akaike information criterion (AIC), coefficient of determination (R^2), adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standardized residual errors and relative errors were used. Allometric equations were constructed for all species. Almost all models presented an adjusted correlation coefficient greater than 0.80, with the exception of the species *Saccharum officinarum* and *Pennisetum purpureum*, which obtained 0.75 and 0.73 respectively. In addition to allometric equations capable of predicting the pruned biomass of each branch, it was possible to conclude that because plants are modular individuals, the branches behave in the same way as the whole plant, and it is possible to predict the branch biomass through its diameter, in the same way as the estimate of total biomass is made. Through these results, pruning can be better planned based on the available volume of biomass, thus ensuring greater deposition of plant material to the soil, acceleration of the production cycle and lower labor costs.

6.3.Introdução

Nos últimos anos o planeta vem vivenciando grandes mudanças e desafios climáticos. A média da temperatura terrestre aumentou 1.53°C no último período medido, entre 2006 e 2015 (IPPC, 2019). Já o Brasil, além da pandemia mundial, tem vivenciado eventos climáticos extremos antes considerados raros, como secas, alagamentos, tornados e tempestades de areia (DALAGNOL et al., 2021) nos mostrando cada vez mais a importância em propor mudanças e soluções para o agronegócio brasileiro, como também as emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, o qual representa o principal componente dos gases de efeito estufa.

Neste cenário a produção de biomassa vegetal possui papel importante principalmente relacionado ao sequestro de carbono, além de ser uma fonte de energia renovável. A produção de biomassa vegetal pode e está vinculada a formas de agricultura mais sustentáveis, como o uso de adubação verde, já utilizada em sistemas de agricultura convencional até sistemas mais complexos, como sistemas agroecológicos e agroflorestais. Em SAFs a produção de biomassa tem papel importante para o manejo e acúmulo de matéria orgânica dentro do sistema, tornando o próprio sistema mais rico e acelerando o processo de sucessão (YOUNG, 2018).

Para conseguirmos estimar sequestro de carbono e produção de energia é necessário estimarmos produção de biomassa. Para isso se faz uso de equações alométricas que são baseadas em correlações matemáticas capazes de estimar determinado parâmetro, neste caso biomassa, em função de outros parâmetros de fácil mensuração, por exemplo o diâmetro do caule. (PARRESOL 1999; ANDRADE; SEGURA, 2008; ANDRADE et al., 2018)

Apesar da quantificação de biomassa vegetal apresentar grande relevância para o momento atual, ainda existe a necessidade de desenvolver equações, sejam elas mais precisas ou mesmo para espécies ainda desprovidas deste atributo (ALEXANDER et al., 2011; NAIR, 2011; VAN BREUGEL et al., 2011).

Quando falamos de estimativas de produção de biomassa podada, entramos em um universo ainda mais restrito em relação as equações alométricas, no entanto, extremamente importantes para a mensuração de espécies em sistemas agroflorestais e

sistemas silvipastoris, onde existe constante poda para depositar nutrientes ao solo e alimentar animais respectivamente (HEVIA et al., 2017).

Os estudos que tratam de quantificação de biomassa podada dizem respeito a biomassa podada total da planta, na maioria das vezes considerando a área de copa como variável preditora. Existem estudos que consideram os galhos individualmente, porém esses estudos são voltados para árvores urbanas e estimativas de volume do galho (SAJDAK; VELAZQUEZ-MARTÍ, 2012; VELAZQUEZ-MARTÍ et al., 2013; SAJDAK et al., 2014; HEVIA et al., 2017; HAFNER et al., 2021). Equações alométricas capazes de estimar produção de biomassa de cada galho podado em espécies inseridas em sistemas agroflorestais ainda são inexistentes na literatura.

Destacando-se a importância das equações alométricas de biomassa podada e a inexistência de equações alométricas para estimativa desta biomassa, esse estudo tem como objetivo a construção de equações alométricas capazes de estimar produção de biomassa seca podada de espécies arbóreas e adubadeiras comumente utilizadas em sistemas agroecológicos e agroflorestais a partir da informação do tamanho do galho (diâmetro e comprimento).

6.4. Metodologia

6.4.1. Área de estudo

Esse estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, localizada em Florianópolis, SC, Brasil em uma área de sistema agroflorestal experimental.

O solo deste experimento é classificado como Neossolo Quartsarênico Hidromórfico Típico (SANTOS, 2013), com áreas de alto teor de matéria orgânica e estando entre 2-4 metros acima da altura do mar. O local possui temperatura média anual entre 17 e 25° C e a pluviometria entre 1270 e 1600 mm por ano e a região é classificada como uma região de clima subtropical constantemente úmido (classificação climática Cfa - Köppen; WREGG et al., 2011, ALVARES et al. 2013).

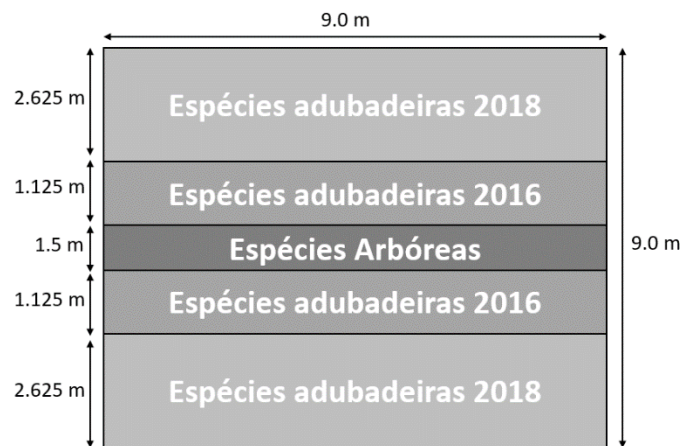
O experimento, implantado em 2016, é constituído de 18 parcelas de sistemas agroflorestais com dimensão de 9x9m cada. Desde sua implantação esses SAFs tiveram

suas espécies alteradas de acordo com a sucessão agroflorestal e manejos realizados periodicamente, com algumas adubações e podas recorrentes.

6.4.2. Espécies

Por se tratar de um experimento de longo prazo, as espécies dos sistemas agroflorestais sucessionais mudaram ao longo do tempo. Em 2019, quando as coletas foram realizadas, a composição de cada SAF era de 5 principais faixas, sendo 2 faixas externas de adubadeiras implantadas em 2018, 2 faixas internas de adubadeiras implantadas em 2016 e 1 faixa central composta por árvores nativas brasileiras (Figura 6).

Figura 6. Distribuição das faixas adubadeiras 2016 e 2018 e arbóreas nas parcelas de SAFs.



As espécies que compõem esses sistemas (Tabela 2) são espécies amplamente utilizadas em sistemas agroflorestais brasileiros.

Tabela 2. Espécies que compõem os SAFs. Descrição das faixas: 1 – Adubadeiras 2018; 2 – Adubadeiras 2016 e 3 – Arbóreas.

Faixa	Nome Científico	Nome Popular
Adubadeiras 2016 e 2018	<i>Cajanus cajan (L.) Huth</i>	Feijão Guandu
Adubadeiras 2016 e 2018	<i>Pennisetum purpureum Schumach.</i>	Capim Elefante
Adubadeiras 2016	<i>Saccharum officinarum L.</i>	Cana de Açúcar
Adubadeiras 2016	<i>Musa paradisiaca L.</i>	Bananeira
Arbóreas	<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá
	<i>Pachira glabra</i>	Castanheira da praia
	<i>Citharexylum myrianthum</i>	Tucaneira
	<i>Schinus therebintifolius</i>	Aroeira
	<i>Inga semialata</i>	Ingá
	<i>Trema micranta</i>	Grandiúva
	<i>Erythrina speciosa</i>	Eritrina
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba

6.4.3. Coleta de dados

Para determinar as equações alométricas de cada espécie forma feitas amostragens durante o período de poda do experimento. Essa amostragem consistiu em 1 (um) metro linear por linha dentro das parcelas. Esse metro linear coletado foi sorteado de forma aleatória dentro dos 8 metros de comprimento de cada parcela e desconsiderando 0,5 metros da bordadura. A biomassa podada foi acondicionada em sacos de papel e seca em estufa com ventilação (ar forçado) a 80 ° C por 48 horas, e por fim seu peso mensurado através de uma balança semi-analítica, separando material lenhoso das folhas (Figura 7) (LAVOREL et al., 2008). Para a bananeira, o material foi picotado e acondicionado em caixas de papelão com furos, esse material foi levado a estufa de ar forçado a 80°C até atingir peso constante. As variáveis mensuradas para a construção das equações alométricas foram diferentes para cada espécie de acordo com sua morfologia, conforme descrito abaixo.

Figura 7. Biomassa podada seca sendo mensurada com o auxílio de uma balança



6.4.3.1. Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)

Para cada indivíduo do feijão guandu, foram mensurados o comprimento e diâmetro da base de cada um dos galhos podados conforme mostra a figura 8 adaptada de KALITA, DAS e NATH (2015) e ANDRADE et al. (2018). O diâmetro foi mensurado com de um paquímetro digital e o comprimento através de régua e/ou trena milimetrada (Figura 9).

Figura 8. Mensuração de medidas indiretas para compor a equação alométricas.

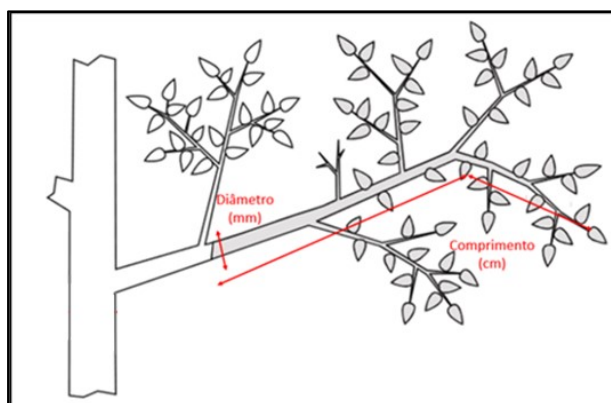


Imagem adaptada de PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. (2013), KALITA; DAS; NATH (2015) ANDRADE et al. (2018).

Figura 9. Mensuração do diâmetro na base e do comprimento do galho podado com o auxílio de um paquímetro digital e uma trena, respectivamente.



6.4.3.2. Cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) e Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*)

Por possuírem estruturas semelhantes, a coleta referente à cana de açúcar e o capim elefante foram similares. As medidas mensuradas foram: comprimento e diâmetro na base do colmo de cada indivíduo (brotação) da touceira, caso haja mais de uma touceira no ponto aleatorizado de um metro linear, esta será medida separada (MCCLARAN et al., 2013; OLIVEIRAS, et al, 2014; YOUKHANA et al., 2017). O diâmetro foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital e o comprimento do colmo através de régua e/ou trena milimetrada (Figura 10).

Figura 10. Coleta e mensuração do comprimento da biomassa podada do capim elefante.



6.4.3.3. Banana (*Musa paradisiaca*)

As medidas mensuradas foram: altura total da planta, altura da base até a inserção das folhas, diâmetro na base, diâmetro a 0,1 m, 0,3 m, 1,0 m e 1,3 m do pseudocaule. As folhas foram contabilizadas e foi mensurado o comprimento e largura da maior folha do indivíduo (Figura 11) (ARMECIN; COSECOB, 2012; NEGASH; KANNINEN, 2013; ALCUDIA-AGUILAR et al., 2019). O diâmetro foi mensurado com o auxílio de uma suta métrica e a altura da planta e comprimento da maior folha através de uma trena milimetrada.

Figura 11. Mensuração de medidas indiretas que irão compor a equação alométricas para plantas de Banana (*Musa paradisiaca*).



Imagem adaptada de NEGASH; KANNINEN, 2013

6.4.3.4. Espécies Arbóreas

Como o sistema é composto por diferentes espécies de árvores, que contém diferentes comportamentos e velocidades de crescimento, foram mensurados os indivíduos que apresentarem necessidade de poda para condução da copa da espécie. As árvores podadas tiveram o diâmetro na base (DAB) mensurado e cada galho podado teve seu comprimento e diâmetro na base medido (Figura 12) (SAJDAK et al., 2014; HEVIA et al., 2019; RAMÍREZ-RAMÍREZ et al., 2019) O diâmetro foi mensurado através de um paquímetro digital e o comprimento através de uma fita métrica comum.

Figura 12. Coleta e mensuração do comprimento dos galhos podados.



6.4.4. Análises estatísticas

Os dados foram analisados para normalidade através do teste de Shapiro-Wilk e através de histogramas. Também foram feitos gráficos de correlação para entender a correlação entre as variáveis preditoras e variável resposta. Em todos os casos a variável resposta (produção de biomassa podada – gramas) sofreu transformação logarítmica natural e para todas as variáveis preditoras, com exceção do DAB para as espécies Erytrina e bananeira e do comprimento para a cana-de-açúcar.

Os modelos testados foram:

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 DAB$$

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 DAB + \beta_2 DAB^2$$

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 Comp$$

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 Comp + \beta_2 Comp^2$$

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 DAB + \beta_2 Comp$$

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 DAB^2 + \beta_2 Comp^2$$

$$Biomassa = \alpha + \beta_1 DAB + \beta_2 DAB^2 + \beta_3 Comp + \beta_4 Comp^2$$

Lembrando que, em casos onde houve a necessidade de transformação da variável, o modelo genérico foi testado com a transformação.

Modelos lineares polinomiais de primeiro e segundo grau aninhados foram comparados através do critério de informação de Akaike (AIC), já que o AIC penaliza o aumento de parâmetros no modelo, garantindo assim modelos mais simples. Também foram considerados maiores coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes de determinação ajustado (R^2_{aj}) e menores valores de erro dos resíduos padronizados e erros relativos. A parcimônia dos modelos também foi considerada, garantindo modelos mais simples de serem aplicados e interpretados (ZUUR et al., 2009).

Os erros relativos em relação os valores de biomassa estimados pelos modelos foram calculados separadamente para cada galho podado e posteriormente feito a média considerando cada espécie. Os erros relativos das estimativas foram calculados através da fórmula (DOUTERLUNGNE, 2013):

$$Erro\ rel. = \left(\frac{B_{calc} - B_{obs}}{B_{calc}} \right) * 100$$

B_{calc} – Biomassa Calculada é a biomassa estimada através do melhor modelo alométrico selecionado; B_{obs} – Biomassa Observada é a biomassa pesada.

As análises foram realizadas através do software R versão 4.0.5 (R Development Core Team, 2021), utilizando dos pacotes ggplot2 (WICKHAM et al., 2021) e lmtest (HOTHORN et al., 2020).

Para garantir a generalização no uso das equações aqui descritas, fatores oriundos do delineamento experimental (Tratamentos, blocos e faixas) foram excluídos do modelo. Essa exclusão pode acarretar em um menor ajuste dos dados aos modelos propostos, porém garante usabilidade das equações alométricas desenvolvidas neste trabalho por outros pesquisadores.

6.5. Resultados e Discussão

O número de amostras (cada galho podado) de cada espécie variou de acordo com a necessidade de poda de cada indivíduo (Tabela 3). Todas as espécies dos SAFES passaram por podas no ano de 2019, com exceção da *Pachira glabra* (castanheira da praia), a qual ainda não possui maturidade suficiente para que a poda seja realizada.

Tabela 3. Espécies coletadas, número de galhos podados (número de indivíduos) dessas espécies e amplitude de DAB = diâmetro na base e comprimento obtidos.

Nome Científico	Número de indivíduos	Δ DAB (mm)	Δ Comprimento (cm)
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth	637	2.37 - 27.28	2.23 - 619.4
<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	567	3.71 - 19.42	26.0 - 330.0
<i>Saccharum officinarum</i> L.	41	14.09 - 40.37	131.0 - 414.0
<i>Musa paradisiaca</i> L.	62	31.60 - 205.0	99.5 - 508.0
<i>Psidium cattleianum</i>	117	2.36 - 20.50	3.5 - 153.0
<i>Pachira glabra</i>	0	-	-
<i>Citharexylum myrianthum</i>	74	2.32 - 15.09	6.5 - 120.0
<i>Schinus terebinthifolius</i>	145	2.79 - 28.530	6.0 - 179.0
<i>Inga semialata</i>	194	2.02 - 34.80	7.0 - 230.0
<i>Trema micrantha</i>	27	3.10 - 62.50	15.5 - 390.0
<i>Erythrina speciosa</i>	12	7.17 - 24.10	6.0 - 98.0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	105	2.79 - 14.60	10.0 - 158.0

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

As equações alométricas selecionadas são constituídas de termos simples e quadráticos e na maioria das espécies houve maior correlação entre a biomassa do galho podado com o DAB em comparação ao comprimento do galho. O uso de termos simples e quadráticos na composição das equações alométricas, como também a maior correlação da biomassa podada com o DAB nos mostra semelhanças com as equações alométricas encontradas na literatura para a estimativa de biomassa total (BASUKI et al., 2009; CYSNEIROS et al., 2020; ROMERO et al., 2020).

Também foi necessário a transformação logarítmica para praticamente todas as espécies em relação ao valor de biomassa podada (gramas) e para todas as espécies das variáveis independentes (DAB e comprimento), com exceção da Erythrina, cana de açúcar e bananeira. Esse comportamento vai na mesma direção de outros trabalhos sobre equações alométricas (TIEPOLO et al., 2002; WANG, 2006; CHAVE et al., 2014; ZHANG et al., 2021).

Foi possível construir equações com bom ajuste, considerando que os modelos obtiveram r^2 e r^2_{aj} maiores que 0.80 (exceção da cana de açúcar e capim elefante), erros dos residuais padronizados menores que 1% e erros relativos menores que 10% (Tabela 4) (DOUTERLUNGNE, 2013).

Em relação às espécies adubadeiras, a cana-de-açúcar foi a única espécie que teve como variável preditora no modelo o comprimento do colmo podado. Provavelmente isso se deve a estrutura da espécie, uma espécie gramínea que não forma um caule verdadeiro, na qual existe maior incremento de biomassa ao longo do tempo para o comprimento do

colmo do que para o DAB, ou seja, nesta espécie o diâmetro não foi um bom preditor sozinho para a produção de biomassa, como já visto em outras pesquisas com cana de açúcar (YOUKHANA et al., 2017; DE CARVALHO et al., 2019).

Já nas espécies arbóreas, a tucaneira mostrou o mesmo comportamento que a cana-de-açúcar, tendo como melhor preditor o comprimento. Porém com base na literatura sobre equações alométricas para estimativa de biomassa em pé de espécies arbóreas o melhor preditor é o DAB do caule (CIFUENTES JARA, M., MORALES, D., HENRY, M. 2013; DOUTERLUNGNE, 2013). Provavelmente, neste caso, o desenvolvimento ainda inicial dos indivíduos mensurados da tucaneira pode ter afetado no ajuste do modelo, mostrando que, para tucaneiras ainda jovens, o comprimento do galho possui maior poder de previsão do que seu diâmetro.

As demais espécies tiveram como variável preditora o DAB, aspecto bastante importante, pois quando comparados, comprimento e dab de um galho podado, DAB é mais facilmente mensurado (CHAVE et al., 2014; HUY et al., 2016), principalmente quando pensamos em uma medida não destrutiva.

No geral os gráficos de resíduos (Figura 13) nos mostraram um bom ajuste dos dados, porém principalmente no araçá, na aroeira e na cana de açúcar podemos verificar um ponto (*outlier*) que impactou o ajuste dos resíduos e conseqüentemente deve ter impactado no ajuste final do modelo.

Considerando a inexistência de trabalhos que abordem a construção de equações alométricas para biomassa podada em sistemas agroflorestais, a maioria dos trabalhos comparados aqui dizem a respeito da produção de biomassa acima do solo, seja para espécies individualmente ou em florestas e neste sentido as equações produzidas por esta pesquisa vão ao mesmo encontro, com dab sendo um bom preditor para estimativa de

Tabela 4. Equações com o melhor ajuste aos dados para estimativa de produção de biomassa podada (gramas) usando diâmetro na base (DAB) ou comprimento (Comp) do galho podado.

Espécie	Nome Popular	Modelo selecionado Ln (Biomassa podada)	α	β_1	β_2	df	r^2	r_{aj}^2	EER	AIC	Error rel.
<i>Inga semialata</i>	Ingá	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB)$	-2.84±0.11	2.85±0.05	--	192	0.94	0.94	0.42	218.47	0.98
<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB) + \beta_2 (\ln(DAB))^2$	-3.46±0.66	4.15±0.73	-0.44±0.19	114	0.84	0.84	0.53	190.38	8.71
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Aroeira-pimenteira	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB) + \beta_2 (\ln(DAB))^2$	-4.64±0.56	4.52±0.55	-0.44±0.13	142	0.89	0.88	0.40	147.95	0.81
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Tucaneira	$\alpha + \beta_1 \ln(Comp) + \beta_2 (\ln(Comp))^2$	0.53±0.99	-0.88±0.62	0.34±0.09	71	0.82	0.81	0.45	97.85	0.98
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB) + \beta_2 (\ln(DAB))^2$	-3.69±0.85	4.19±0.91	-0.42±0.24	102	0.86	0.86	0.38	99.51	3.08
<i>Trema micrantha</i>	Grandiúva	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB)$	-2.51±0.25	2.50±0.9	--	25	0.97	0.96	0.45	37.92	-6.37
<i>Erythrina speciosa</i>	Eritrina	$\alpha + \beta_1 DAB + \beta_2 (DAB)^2$	-3.46±1.36	0.62±0.18	-0.01±0.01	9	0.89	0.87	0.47	20.31	2.67
<i>Musa spp.</i>	Bananeira	$\alpha + \beta_1 (DAB)$	3.68±0.16	0.22±0.01	--	60	0.82	0.81	0.46	83.93	0.73
<i>Saccharum officinarum</i>	Cana-de-açúcar	$\alpha + \beta_1 (Comp)$	2.25±0.28	0.010±0.001	--	39	0.75	0.75	0.44	52.45	0.82
<i>Pennisetum purpureum</i>	Capim-elefante	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB)$	-2.01±0.14	2.43±0.06	--	565	0.73	0.73	0.47	752.69	2.86
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão-guandu	$\alpha + \beta_1 \ln(DAB) + \beta_2 (\ln(DAB))^2$	-1.29±0.24	1.61±0.23	0.26±0.05	634	0.92	0.92	0.36	511.24	0.99

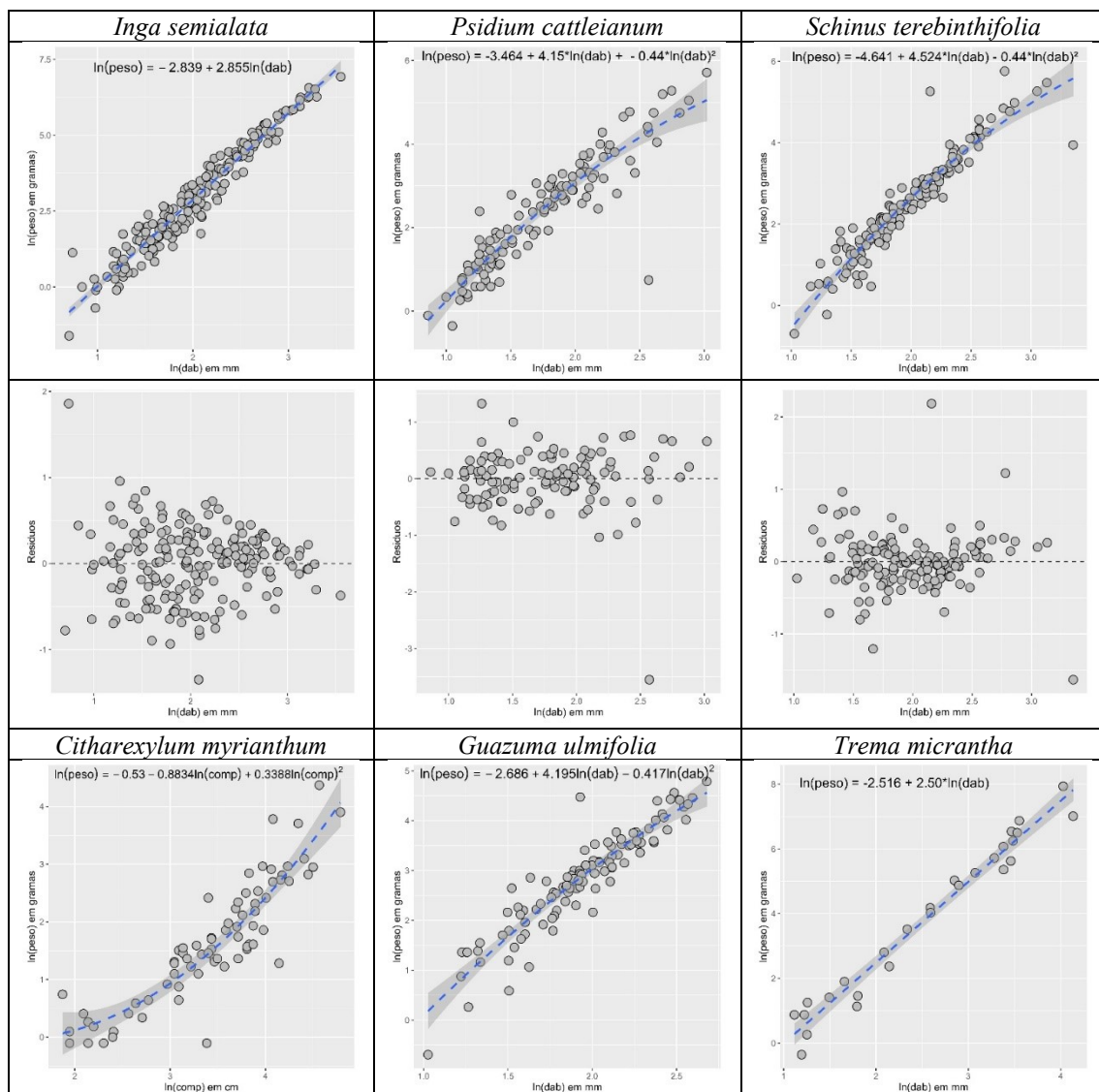
α , β_1 e β_2 como parâmetros da equação, graus de liberdade (df), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de determinação ajustado (r_{aj}^2), erro dos resíduos padronizados (EER), Critério de informação de Akaike (AIC) e Erro relativo (%). Todos os modelos e os coeficientes são significantes estatisticamente ($p < 0.05$).

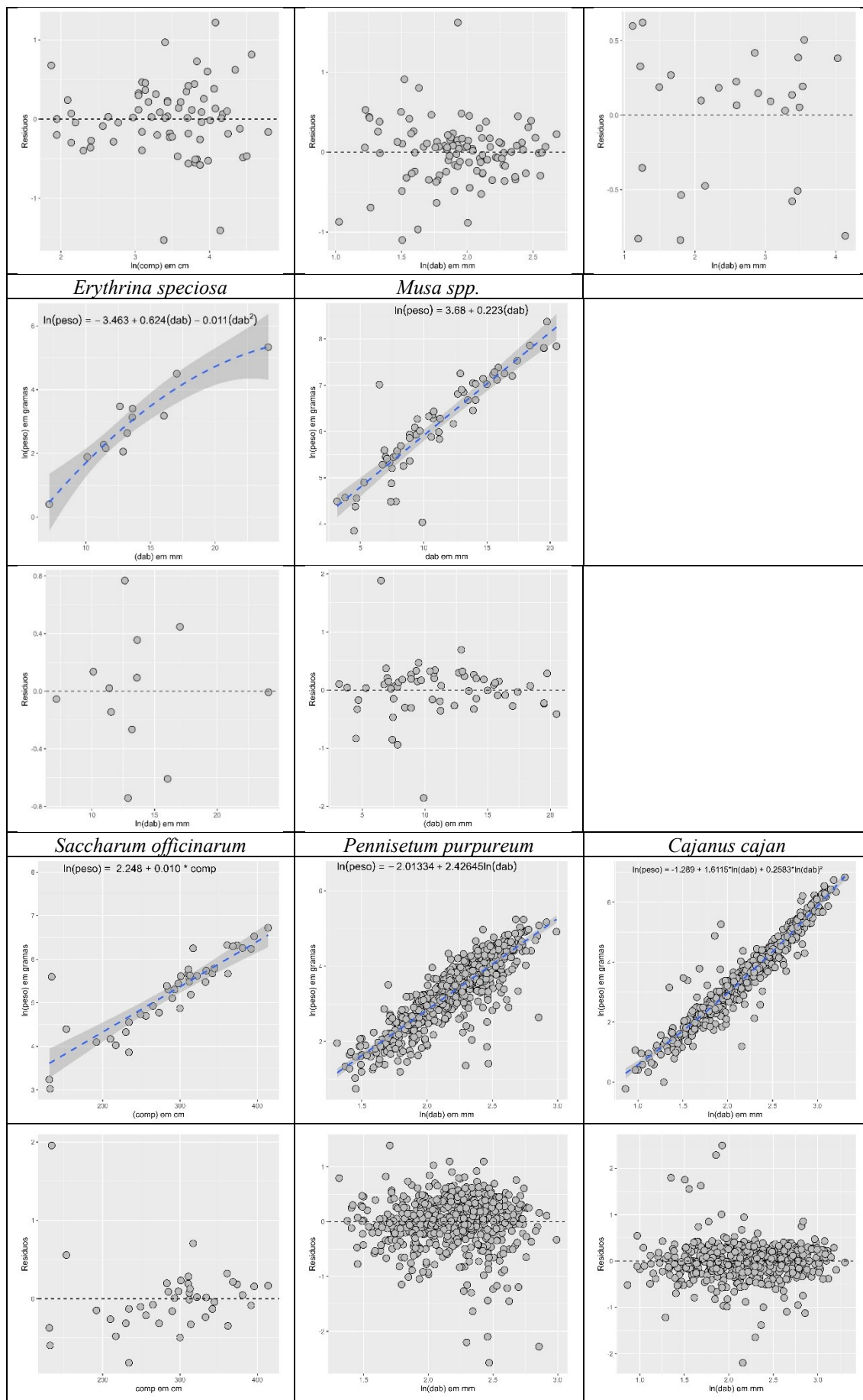
Fonte: Elaborado pela autora (2021)

biomassa (CIFUENTES JARA, M., MORALES, D., HENRY, M. 2013; SAJDAK et al., 2013).

Contudo, é importante salientar que, existem diferenças significativas entre equações alométricas para a mesma espécie que estejam localizadas em ecossistemas, altitudes e condições climáticas diferentes (CHAVE et al., 2004; ZHANG et al., 2021). Já que existe interação de cada espécie com o ambiente onde ela está inserida (ELIAS; POTVIN, 2003; LAUMONIER et al., 2010). Sendo assim, as equações expostas neste trabalho representam uma boa alternativa para a estimativa de biomassa em áreas similares a área de estudo. Ou seja, para regiões com clima subtropical constantemente úmido.

Figura 13. Gráficos de ajuste do modelo escolhido e dispersão de resíduos





Fonte: Elaborado pela autora (2021)

6.6.Conclusões

Através do diâmetro na base do galho e do comprimento do galho podado foi possível construir equações alométricas com ajuste suficiente para estimativa de biomassa seca podada. Praticamente todas as espécies apresentaram um coeficiente de determinação ajustado maior que 0.80, com exceção das espécies cana de açúcar e capim elefante, as obtiveram 0.75 e 0.73 respectivamente.

Também foi possível concluir através destes resultados que a estimativa de produção de biomassa podada segue os mesmos padrões que as equações alométricas construídas para estimativa de biomassa total.

Também concluímos que, como já bastante descrito na literatura (CIFUENTES JARA, M., MORALES, D., HENRY, M. 2013) o dab do caule é um bom preditor para estimativas de biomassa da planta inteira e também de ramos podados. Esse comportamento vai de encontro ao fato de que as plantas são organismos modulares, onde as partes da planta, neste caso, os galhos, se desenvolvem da mesma forma que o indivíduo inteiro (HALLÉ, 1986).

A poda de biomassa e deposição deste material no solo é fundamental para acelerar o ciclo de produção dos SAFs através da disponibilização de nutrientes no solo, além de garantir que não seja necessário o aporte de insumos externos, como adubos e fertilizantes químicos. A mensuração desta biomassa podada pode ser uma ferramenta importante para determinar o melhor momento de poda considerando o volume de biomassa disponível e garantindo assim, menores gastos com mão de obra para esse tipo de manejo.

6.7.Financiamento

Essa pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através da Chamada Universal de pesquisa N° 409638/2016-1 e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

7. CAPÍTULO II: Efeitos da estrutura funcional das plantas em sistemas agroflorestais sucessionais sobre a produção de biomassa podada no subtropical do Brasil

7.1. Resumo

Os sistemas agroflorestais têm se mostrado uma importante ferramenta para mudar a maneira como a agricultura é feita atualmente, sendo um agroecossistema capaz de unir conceitos ecológicos e os interesses produtivos, diminuindo os impactos causados pela agricultura convencional. Nestes agroecossistemas complexos a poda de espécies adubadeiras tem papel fundamental para garantir a manutenção do sistema e o decréscimo na necessidade de *input* de insumos externos. Contudo, estudos focados na produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais (SAFS) ainda são escassos, devido principalmente a complexidade envolvida nesta mensuração e também a grande diversidade de espécies que compõem um sistema agroflorestal. Através da ecologia funcional é possível entender o comportamento de ecossistemas de maneira mais generalista, facilitando o entendimento de sistemas como os SAFs. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da identidade e diversidade funcional sobre a produção de biomassa podada em sistemas agroflorestais sucessionais, levando em consideração as hipóteses de razão de massa e a hipótese da complementaridade de nichos. Esta pesquisa foi conduzida em sistemas agroflorestais sucessionais localizados na Universidade Federal de Santa Catarina e localizada em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. O experimento é composto de 18 SAFEs com dimensão de 9x9m e em um arranjo de 5 faixas, sendo 2 faixas mais externas com adubadeiras implantadas em 2018, 2 faixas mais internas com adubadeiras implantadas em 2016 e 1 faixa central com espécies arbóreas. Composto de 6 blocos e 3 tratamentos baseados em níveis de nitrogênio foliar das espécies (Baixo, Médio e Alto). A diversidade funcional foi calculada através da entropia quadrática de Rao e a identidade funcional através do CWM – *Community Weighted Mean*. Foram utilizados modelos de efeitos mistos, tendo como variável resposta a produção de biomassa podada, variáveis preditoras o tratamento, a diversidade funcional e a identidade funcional e como efeitos aleatórios os blocos e faixas do experimento. Os resultados mostraram que quatro atributos funcionais determinam a produção de biomassa para a poda em sistemas agroflorestais: altura máxima das plantas (H), área foliar específica (SLA), densidade específica do caule (SSD) e concentração de nitrogênio foliar (LNC). Os atributos funcionais H e LNC influenciam a produção de biomassa através da identidade e diversidade funcional e os atributos funcionais SSD e SLA apenas através da identidade funcional. Maior média de H da comunidade irá aumentar a produção de biomassa, como também maior média de LNC e do SLA. Enquanto que a média funcional do atributo funcional SSD impacta negativamente os valores de biomassa podada, ou seja, quanto maior a média de SSD menor será o valor de biomassa. Sendo assim, ambas hipóteses, hipótese da razão de massa e hipótese da complementaridade de nichos, são importantes para a maximização da produção de biomassa, sendo impactada pela variação do atributo funcional.

7.2. Abstract

Agroforestry systems have proven to be an important tool to change the way agriculture is done today, being an agroecosystem capable of uniting ecological concepts and productive interests, reducing the impacts caused by conventional agriculture. In these complex agro-ecosystems, the pruning of green manure (biomass provider) species plays a fundamental role in ensuring the maintenance of the system and a decrease in the need of the use of external inputs. However, studies focused on biomass production are still scarce, mainly due to the complexity of the measurement and also to the large diversity of species in an agroforestry system (SAFS). Through functional ecology it is possible to understand the behavior of ecosystems in a more general way, facilitating the understanding of systems such as SAFs. This research was conducted in successional agroforestry systems located at the Experimental Farm Ressacada belonging to the Federal University of Santa Catarina and located in Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. The experiment is composed of 18 SAFS with a dimension of 9x9m and in an arrangement of 5 strips, with 2 outer strips with fertilizer spreaders implemented in 2018, 2 inner strips with fertilizer spreaders implemented in 2016 and 1 central strip with arboreal species. Composed of 6 blocks and 3 treatments based on leaf nitrogen levels of the species (Low, Medium and High). The pruned biomass was measured through a randomly collected sample during the pruning of the species, the functional diversity was calculated through the quadratic entropy of Rao and the CWM – Community Weighted Mean. Mixed effects models were used, with the response variable being the production of pruned biomass, predicting variables such as treatment, functional diversity and functional identity, and experimental blocks and strips as random effects. The results showed that four functional attributes determine pruned biomass production in agroforestry systems: maximum plant height (H), specific leaf area (SLA), specific stem density (SSD) and leaf nitrogen concentration (LNC). The functional attributes H and LNC influence the biomass production through the functional identity and diversity and the functional attributes SSD and SLA only through the functional identity. Higher H average in community will increase biomass production, as will higher LNC and SLA averages. While the functional mean of the SSD functional attribute negatively impacts the pruned biomass values, that is, the higher the SSD mean, the lower the biomass value. Therefore, both hypotheses, the mass ratio hypothesis and the niche complementarity hypothesis, are important for maximizing biomass production, being impacted by the variation of the functional attribute.

7.3.Introdução

A atividade humana vem causando enormes impactos negativos ao planeta afetando a existência de todos os seres vivos. Após a revolução industrial, houve aumento no consumo humano, acarretando em um maior uso de recursos naturais e também em um maior descarte de resíduos. Junto ao consumismo desenfreado existe o crescimento da população mundial, aumentando ainda mais a necessidade humana dos recursos naturais (GRIGGS et al., 2013; STEFFEN et al., 2015).

Com o aumento no uso de recursos naturais, a agricultura também precisou aumentar sua produtividade, expandindo também os impactos ambientais oriundos do uso descontrolado de fertilizantes sintéticos e agroquímicos como pesticidas, inseticidas e outros agendes extremamente tóxicos. Levando a agricultura a se tornar uma grande causadora de perda de biodiversidade (MOZUMDERA & BERRENS, 2006; HAUTIER, 2014)

Uma maneira de manter a produção agrícola, reduzindo os impactos que possam ser causados por essa produção, é fazer uso de teorias da ecologia em ecossistemas naturais para manejar os sistemas agrícolas (GABA et al., 2014, 2017), ou seja, utilizar conhecimentos provindos do funcionamento da natureza e aplica-los em produções agrícolas.

Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) tem muito a agregar e beneficiar a produção de alimentos (KANG; AKINNIFESI, 2000; NAIR, 2007). Os SAFs são sistemas capazes de agrupar no mesmo espaço, físico e ao longo do tempo, espécies lenhosas (árvores) e outros componentes, como espécies herbáceas, arbustivas, culturas agrícolas, forrageiras e animais (BRASIL, 2009; 2011). Isso faz com que exista grande diversidade de espécies, tornando esses sistemas complexos e de difícil entendimento (MALÉZIEUX et al., 2009; JONER, 2017).

Estes sistemas são capazes de gerar diversos serviços ambientais, impactando na ciclagem de nutrientes, melhorias no ciclo da água, proteção dos solos, aumento na conservação de fauna e flora, sequestro de carbono, além dos benefícios socioeconômicos gerados (KUMAR & NAIR, 2004; ALAVALAPATI et al., 2004; MAIA et al., 2006; BHAGWAT et al., 2008;).

O planejamento de sistemas agroflorestais visa a independência de insumos externos, ou seja, que não exista necessidade de aplicação de adubos e fertilizantes. Para isso, nos arranjos agroflorestais normalmente existem espécies destinadas a produção de alimentos e espécies destinadas a outras funções no sistema, como por exemplo a produção de nutrientes. Em geral essas espécies são chamadas de espécies adubadeiras e sua principal produção é a produção de biomassa, esta, repleta de nutrientes que será podada e depositada ao solo para a liberação destes nutrientes para as demais espécies (STEENBOCK, 2013; NETO, 2016).

Para facilitar o entendimento de agroecossistemas complexos se faz necessário análises capazes de simplificar e generalizar seu funcionamento. Isso pode ser feito analisando características morfofisiológicas e bioquímicas individuais que são capazes de dizer sobre o sistema como um todo. Neste sentido, podemos fazer uso de medidas de diversidade e identidade funcional. O primeiro entende como a variação de atributos funcionais individuais influenciam no funcionamento daquele sistema e o segundo, a influência da média dos valores desses atributos no ecossistema (DÍAZ; CABIDO, 2001; LAVOREL; GARNIER, 2002; DÍAZ et al., 2007; REICH, 2014; WOOD et al., 2015; MARTIN; ISAAC, 2018).

Dentro deste universo existem duas hipóteses que se confrontam quanto à sua influência no funcionamento dos ecossistemas, a hipótese de razão de massa e a hipótese da complementariedade de nichos. A hipótese de razão de massa propõe que o funcionamento de um ecossistema, como por exemplo a produção de biomassa, é determinado principalmente pelos atributos funcionais das espécies dominantes (GRIME, 1998; GARNIER et al. 20). Enquanto que a hipótese da complementariedade de nichos diz que a diversidade do atributo funcional dentro de uma comunidade possui maior importância no desenvolvimento e como aquela comunidade de comporta, já que uma maior complementariedade no uso de recursos entre as espécies pode promover uma aquisição mais eficiente de recursos e, portanto, maior produtividade (HOOPER; DUKES 2004; DÍAZ et al. 2007).

Entender a dinâmica da produção de biomassa destinada a poda em sistemas agroflorestais é imprescindível, já que nesses sistemas o manejo de biomassa é uma atividade com alta demanda de mão de obra e está diretamente relacionada a necessidade de input externo no sistema, como adubos e fertilizantes. O manejo de poda também está

relacionado à aceleração do processo de sucessão. Contudo, por se tratarem de sistemas diversificados, entender a produção de biomassa segundo cada espécie se torna inviável e nos leva a usar métodos generalistas para otimizar o entendimento. Neste sentido, o uso de atributos funcionais e medidas de identidade e diversidade funcional podem esclarecer esse mecanismo de forma ampla e focando nas características das plantas e como elas impactam o funcionamento daquele ecossistema e não na planta individualmente. Essa generalização será capaz de facilitar a indicação de espécies para compor sistemas agroflorestais a fim de aumentar a produção de biomassa destinada para a poda.

Esta pesquisa objetiva entender a influência da estrutura funcional, incluindo identidade e diversidade funcional, de sistemas agroflorestais sucessionais sobre a produção de biomassa disponível para a poda.

7.4. Materiais e Métodos

7.4.1. Área de estudo

Esse estudo foi conduzido em uma área de sistema agroflorestal sucessional localizado na Fazenda experimental da Ressacada pertencente Universidade Federal de Santa Catarina, localizada na cidade de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

O local é classificado como sub-região de clima subtropical constantemente úmido (classificação climática Cfa - Köppen; WREGE et al., 2011, ALVARES et al. 2013). A temperatura média anual varia entre 17 e 25° C e a pluviometria entre 1270 e 1600 mm por ano (conjunto de dados de 2008-2017 da estação meteorológica vizinha do Aeroporto Internacional de Florianópolis). A classificação do solo é dada como Neossolo Quartsarênico Hidromórfico Típico (SANTOS, 2013), sendo predominantemente constituído por áreas com alto teor de matéria orgânica, o que caracteriza o solo com coloração mais escura.

7.4.2. Delineamento experimental

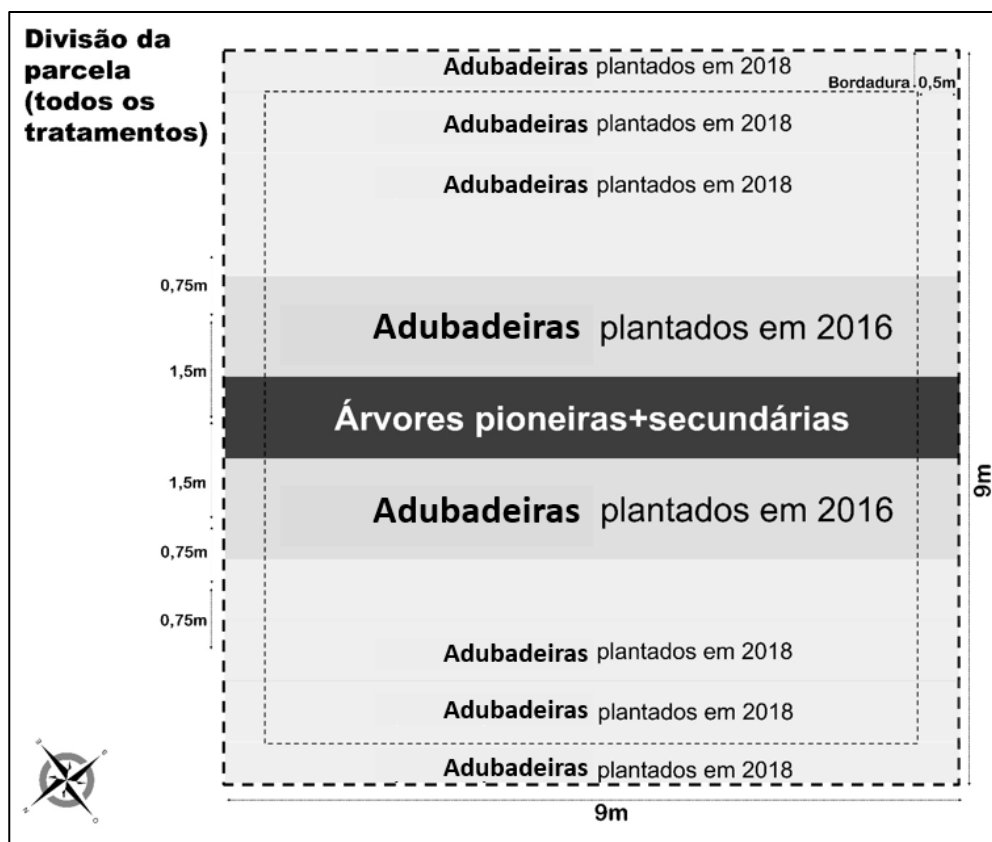
O experimento, implantado em 2016, é constituído de três tratamentos e seis blocos, totalizando 18 parcelas com dimensão de 9 x 9 m. Cada tratamento é composto por espécies que apresentam diferentes níveis de nitrogênio foliar. O tratamento A (alto) é composto por seis espécies com nitrogênio foliar maior que 25mg/g (2,5%), o tratamento B (baixo) é composto por seis espécies com nitrogênio foliar menor que 25mg/g e o

tratamento M (médico) é composto por três espécies com nitrogênio foliar maior que 25mg/g e três espécies com nitrogênio foliar menor que 25mg/g. Os tratamentos foram alocados de forma aleatorizada dentro dos blocos do experimento.

As espécies no experimento estão divididas dentro de cada parcela entre espécies adubadeiras, focadas na produção de biomassa e espécies arbóreas, focadas na produção de frutos ou madeira (Quadro 2). Esses dois grupos de espécies estão divididos em faixas, totalizando 5 faixas em cada parcela, sendo 2 faixas mais externas com adubadeiras implantadas no ano de 2018, 2 faixas mais internas com adubadeiras implantadas em 2016 e uma faixa central com as espécies arbóreas (Figura 14).

Para as análises foi considerado como unidade amostral 1 metro quadrado de cada faixa do experimento, totalizando assim 90 unidades amostrais (18 parcelas x 5 faixas = 90). Considerando o aninhamento das faixas dentro dos tratamentos e blocos.

Figura 14. Representação da parcela experimental com dimensões e distribuição das faixas com os diferentes hábitos de crescimento das espécies vegetais cultivadas em sistema agroflorestal.



7.4.3. Coleta de dados

7.4.3.1. Avaliação de atributos funcionais

Através de protocolos bem estabelecidos e padronizados de Pérez-Harguindeguy (2013), os atributos funcionais determinados como importantes (Quadro 5) para investigar as relações de efeito sobre produção de biomassa já foram mensurados pela equipe do Laboratório de Ecologia Aplicada (Quadro 6). Densidade específica do caule, área foliar, área foliar específica, conteúdo de matéria seca foliar e concentração de nitrogênio foliar foram medidos através dos indivíduos presentes no próprio experimento. Enquanto que a altura máxima foi coletada através da literatura, visto que o experimento ainda se encontra em idade juvenil.

Quadro 5. Lista de atributos funcionais medidos para as espécies conforme especificações de PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013; DIAZ et al., 2016.

Categoria	Atributo funcional	Sigla
Caule	Densidade específica do caule (mg mm^{-3})	<i>Specific Stem density - SSD</i>
Caule	Altura máxima (m)	<i>Height - H</i>
Foliar	Área foliar (mm^2)	<i>Leaf area - LA</i>
Foliar	Área foliar específica ($\text{mm}^2\text{mg}^{-1}$)	<i>Specific leaf area - SLA</i>
Foliar	Conteúdo de matéria seca foliar (mg g^{-1})	<i>Leaf dry mass content - LDMC</i>
Foliar	Concentração de nitrogênio foliar (mg g^{-1})	<i>Leaf Nitrogen Content - LNC</i>

Quadro 6. Descrição de atributos funcionais utilizados e metodologia utilizada para seleção, coleta e medição dos dados.

Atributo	Réplicas	Amostras	Descrição e metodologia
Área foliar (mm^2)	5	5	Área foliar (LA) é a área unilateral de uma folha nova (métrica mais comum para o tamanho da folha e é definida como a área unilateral ou projetada de uma folha individual. Foi utilizado um scanner de mesa e análise das imagens com software de contagem de pixels (ImageJ; National Institutes of Health).
Área foliar específica ($\text{mm}^2\text{mg}^{-1}$)	5	5	Área foliar específica (SLA) é a área foliar dividida pela sua massa seca na estufa (a 80°C por 48 h).

Atributo	Réplicas	Amostras	Descrição e metodologia
Conteúdo de matéria seca foliar (mg g ⁻¹)	5	5	Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) é a massa seca na estufa (mg - a 80°C por 48 h) de uma folha, dividida por sua massa fresca saturada de água (g).
Densidade específica do caule (mg mm ⁻³)	5	5	Densidade específica de caule (SD) é a massa seca na estufa (a 105°C por 72 h), de uma seção do caule principal de uma planta, dividida pelo volume da mesma seção, quando ainda fresco. Para o volume foi utilizado o método de deslocamento de água.
Altura máxima (m)	10	-	A altura da planta é a distância entre o limite superior dos tecidos fotossintéticos (excluindo inflorescências) e o nível do solo da planta em sua idade máxima. Essa medida foi considerada segunda o encontrado na literatura.
Concentração de nitrogênio foliar (mg g ⁻¹)	5	5	A mensuração foi realizada através do Analisador de CNH, na Universidade Federal de Santa Maria (RS).

Fonte: Pérez- Arguindeguy et al., 2013.

7.4.3.2. Quantificação da diversidade e identidade funcional

A diversidade funcional foi quantificada através da entropia quadrática de Rao (1982) (Figura 15), que mede a divergência dos atributos das espécies (BOTTA-DUKÁT, 2005). Para isso, foi utilizado o pacote “SYNCSA” (DEBASTIANI, 2020) no software R. Para o cálculo foi utilizado os valores dos atributos funcionais medidos e também a abundância das espécies dentro do experimento, abundância feita através da área basal.

Figura 15. Fórmula da equação utilizada para gerar o valor de diversidade funcional do sistema.

$$DF_Q = \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^{s-1} d_{ij} p_i p_j$$

s - Número de espécies
 pi - proporção da espécie i
 pj - proporção da espécie j
 dij - dissimilaridade entre a espécie i e espécie j
 Diversidade Funcional quadrática - RAO

Adaptado de BOTTA-DUKÁT (2005), RICOTTA (2005) E PILLAT et al., (2013).

Já a identidade funcional (isto é, a composição das comunidades medida pelos valores médios dos atributos ponderados pelas abundâncias das espécies existentes) foi avaliada a partir do índice *Community-Weighted Mean trait value* (CWM) (Figura 16), que tem sido amplamente utilizado para sumarizar diferentes aspectos da composição e diversidade funcional. Essa medida é calculada pelo valor médio de um atributo ponderado pela sua abundância nas espécies da comunidade (RICOTTA; MORETTI, 2011). Para isso, foi utilizado o pacote “FD” (LALIBERTÉ, LEGENDRE E SHIPLEY, 2015) no software R (R CORE TEAM, 2018).

Figura 16. Formula da equação utilizada para gerar o valor de identidade funcional do sistema em relação ao atributo funcional de interesse.

$$CWM = \sum_{i=1}^s p_i * trait_i$$

s - Número de espécies
 trait - o atributo medido
 p - Peso de cada espécie
 Community Weigh Mean - Peso médio da comunidade

Adaptado de RICOTTA; MORETTI, 2011.

Onde CWM representa a média ponderada da comunidade, p_i e $trait_i$ são, respectivamente, a abundância relativa e o valor de atributo por espécie i , e n é o número total de espécies na comunidade (GARNIER et al., 2004). O cálculo é baseado na hipótese da relação de massa (GRIME, 1998).

7.4.3.3. Quantificação da Biomassa podada

A produção de biomassa podada foi mensurada durante as podas realizadas no ano de 2019, respeitando a época, necessidade de poda de cada espécie (Figura 17) e também as regras pré-definidas para a poda (Quadro 4). Como amostra para a coleta foi sorteado de forma aleatória um metro linear em cada linha distinta dentro das faixas das parcelas. A coleta foi feita de forma a termos material oriundo de todas as composições existentes no SAF. A biomassa gerada pela poda oriunda deste 1 metro foi identificada, seca em estufa de ar forçada até peso constante a temperatura de 70°C, seguindo os protocolos estabelecidos por Pérez-Harguindeguy (2013). Para a linha de arbóreas, todas as arvores foram mensuradas e posteriormente foi feito a média dos valores encontrados.

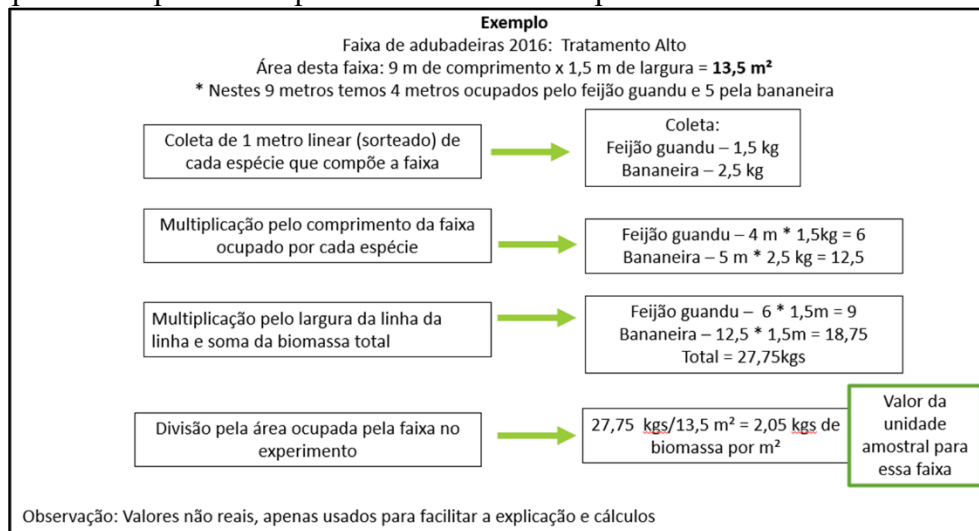
Figura 17. Fotos tiradas durante as podas do experimento. A esquerda a poda de uma espécie arbórea, no caso a grandiúva e a direita a poda da bananeira.



A coleta de biomassa foi feita considerando cada faixa dentro das parcelas como uma unidade amostral. Para isso, dentro de caixa faixa de todas as parcelas foi coletado um metro linear de biomassa, sorteado aleatoriamente, de cada espécie que compunha aquela unidade amostral (faixa). Foi retirado o valor médio de biomassa podada por metro linear considerando as espécies podadas. Em seguida, considerando a largura de cada faixa, foi feita uma extrapolação para possuímos um valor de kg de biomassa por metro quadrado (kg/m^2) por unidade amostral. Como exemplo, podemos considerar a faixa adubadeiras 2016 do tratamento alto, a qual é

composta das espécies feijão guandu e bananeira e tem dimensão de 9x1,5m, totalizando 13,5m² (Figura 18).

Figura 18. Exemplo prático dos cálculos realizados para estipular quantidade de biomassa podada por metro quadrado a partir da coleta em campo.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

7.4.4. Análises estatísticas

Foram utilizados modelos de efeitos mistos (Tabela 6), os quais permitem a inserção de efeitos fixos e efeitos aleatórios aninhados dentro do modelo linear (PINHEIRO et al., 2009) que representam a estrutura hierárquica usada para amostragem neste experimento. Foi utilizado como variável resposta a produção de biomassa podada e como variáveis preditoras os tratamentos baseados no atributo funcional conteúdo de nitrogênio foliar, diversidade funcional considerando todos os atributos, diversidade funcional considerando cada atributos separadamente e identidade funcional para cada atributo (Tabela 5). As variáveis respostas foram testadas separadamente para evitar colinearidade entre preditoras, testando em modelos distintos, tratamentos, diversidade e identidade funcional. Como fatores aleatórios foram considerados as faixas aninhadas dentro dos blocos, considerando o delineamento experimental. Os modelos iniciais foram ajustados com o método de máxima verossimilhança (ML) para seleção, os modelos selecionados foram ajustados com o método de estimativa de máxima verossimilhança restrita (REML) (ZUUR et al., 2009).

A verificação de pressupostos de homocedasticidade e normalidade foram realizadas utilizando visualização gráfica para validar cada modelo (ZUUR et al., 2009).

Apenas os modelos que atenderam os pressupostos estatísticos e apresentaram significância estatística ($p < 0.05$) a 95% de probabilidade serão apresentados nos resultados (SHIPLEY, 2009).

As análises foram realizadas através do software R versão 4.0.5 (R Development Core Team, 2021), utilizando dos pacotes nlme: v3.1-155 (PINHEIRO et al., 2021), FD (LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P.; SHIPLEY, B., 2015), SYNCOSA (DEBASTIANI, 2020) e ggplot2 (WICKHAM et al., 2021).

Tabela 5. Variáveis de resposta, preditoras e aleatórias utilizadas para compor os modelos testados usando o método de máxima verossimilhança (method = “ML”). Cada variável preditora foi testada em um modelo separado para evitar colinearidade entre preditoras. CWM: Community weighted mean; RAO: Diversidade Funcional; área foliar (LA), área foliar específica (SLA), conteúdo de matéria seca foliar (LDMC), densidade específica do caule (SSD), altura máxima (H) e concentração foliar de nitrogênio (LNC).

Tipo de variável	Variável
Resposta	ln(Biomassa podada)
	Tratamentos
	Rao _{todos atributos}
Preditoras	Rao _{LA} , Rao _{SLA} , Rao _{LDMC} , Rao _{SSD} , Rao _H , Rao _{LNC}
	CWM _{LA} , CWM _{SLA} , CWM _{LDMC} , CWM _{SSD} , CWM _H , CWM _{LNC}
Aleatórias	Blocos
(random = ~1 Bloco/Faixa)	Faixas aninhadas dentro dos Blocos

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

7.5. Resultados e Discussão

7.5.1. Influência da estrutura funcional planejada (Tratamentos) sobre a produção de biomassa podada

Para estrutura funcional planejada, ou seja, os tratamentos do delineamento experimental, e considerando o tratamento médio como testemunha, já que ele representa o tratamento intermediário em relação ao conteúdo foliar de nitrogênio das espécies, tivemos como resultado que o tratamento baixo, ou seja, espécies com baixo conteúdo de N foliar, produzem menores quantidades de biomassa para a poda (Figura 18). E que

SAFs que tenham diversidade em espécies com conteúdo de N foliar e apenas espécies com alto conteúdo de N foliar produzem maiores quantidades de biomassa para a poda, porém não diferem entre si (Tabela 6 e Figura 19).

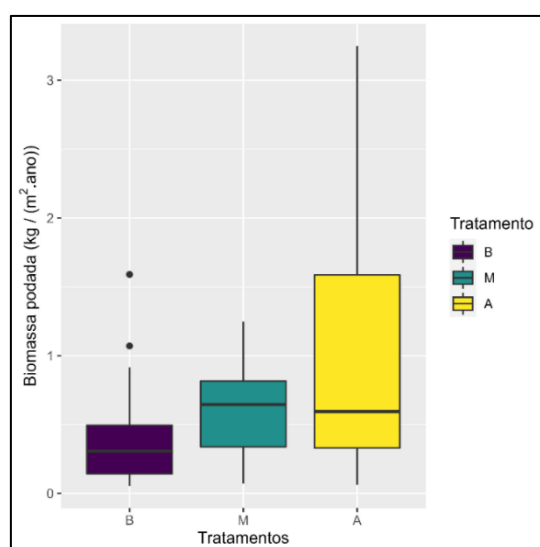
Esse resultado nos conduz sobre o entendimento de que o conteúdo de N foliar é um fator altamente limitante para crescimento e produtividade da planta, sendo um fator de controle de muitos processos, como a distribuição de matéria seca em diferentes partes das plantas e na assimilação de carbono por fotossintetizadores (NIJS; BEHAEGHE; IMPENS, 1995). Podemos concluir então que para otimizar a produção de biomassa para a poda, o agroecossistema não deve ser composto por espécies com baixo valor de conteúdo de nitrogênio foliar e sim composto por espécies com médio e alto valor deste atributo funcional.

Tabela 6. Modelo final com efeito significativo da estrutura funcional planejada (Tratamentos) sobre a biomassa podada.

Modelo	Modelo	Predictoras	Valor	Std. Error	DF	t-value	P-value
M1	ln (biomassa) ~ Tratamentos	Intercepto	-0.8866	0.2059	70	-4.3064	0.0001
		Baixo	0.5992	0.1632	70	-3.6714	0.0005
		Alto	0.2827	0.2011	70	1.7319	0.0877

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 19. Média de biomassa podada durante 12 meses do conjunto de espécies adubadeiras consorciadas nos tratamentos de espécies de baixo (B), baixo+alto (médio M) e alto (A) LNC foliar aos 3 anos após instalação das parcelas agroflorestais.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

7.5.2. Influência da diversidade funcional sobre a produção de biomassa podada

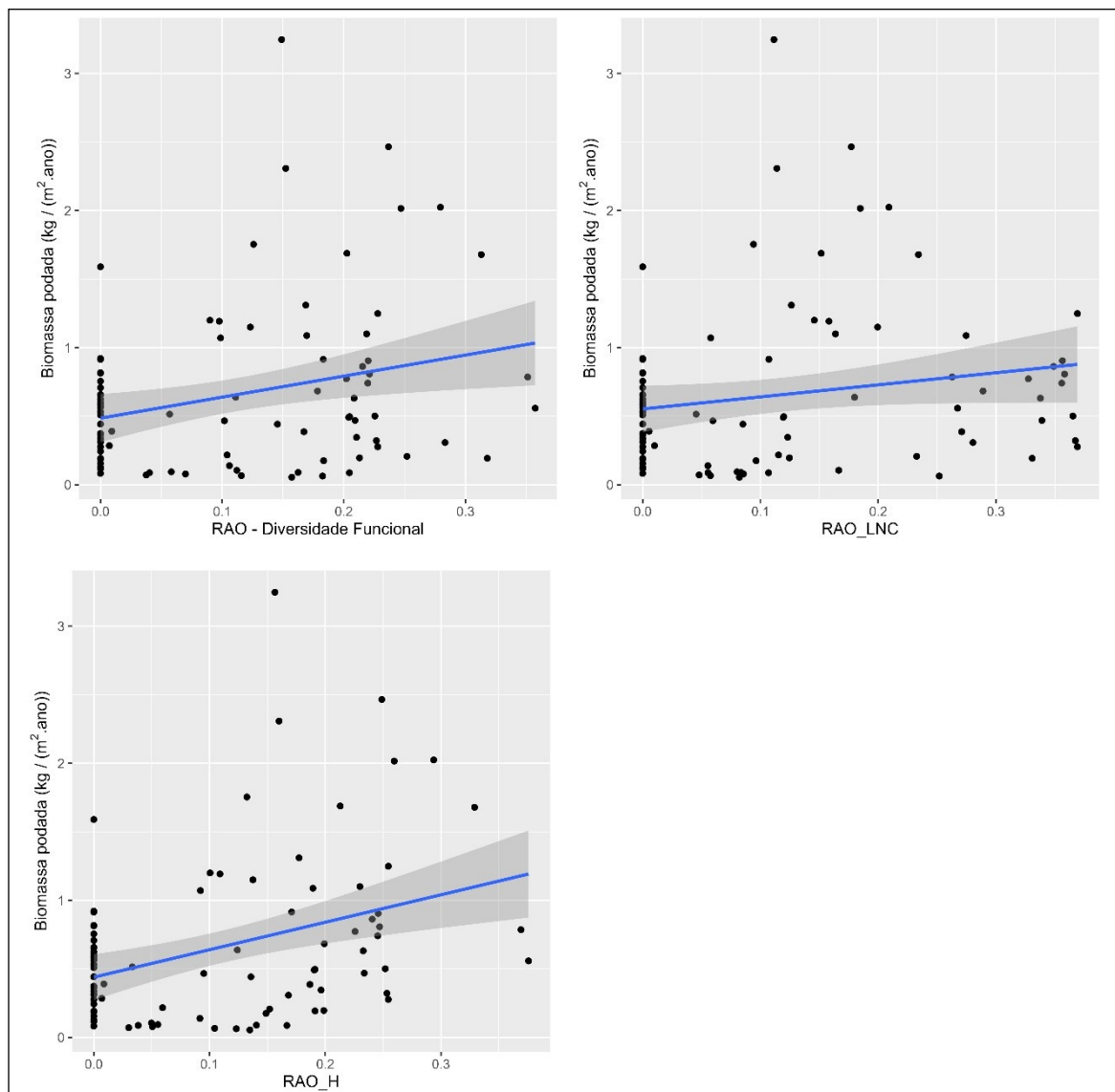
Não houve foi encontrada relação entre a produção de biomassa e a diversidade funcional dos atributos funcionais SLA e SSD (Modelos 3 e 4). Houve aumento da produção de biomassa podada, de forma significativa, com o aumento da diversidade funcional e considerando todos os atributos funcionais descritos neste trabalho e também para a diversidade funcional considerando individualmente H e LNC (Figura 20) (Tabela 7). Ou seja, comunidades com maior diversidade nos valores dos atributos funcionais, principalmente maior diversidade de altura das plantas e concentração de nitrogênio foliar produzem maiores quantidades de biomassa para a poda. Outros trabalhos encontraram efeitos positivos da diversidade funcional sobre a produção de biomassa em florestas tropicais e nenhum efeito em florestas subtropicais e temperadas (Ding; Zang, 2021).

Tabela 7. Modelos avaliados da diversidade funcional (considerando todos os atributos e cada atributo separadamente) em relação a produção de biomassa podada. Tendo como variáveis aleatórias a faixas aninhadas dentro dos blocos e os blocos.

Modelo	Modelo	Preditoras	Valor	Std. Error	DF	t-value	p-value
M2	ln (biomassa)	Intercepto	-1.2419	0.2121	71	-5.8547	0.0000
	~ Rao _{todos_atributos}	Rao	2.2729	0.9130	71	2.4894	0.0151
M3	ln (biomassa)	Intercepto	-1.1588	0.2101	71	-5.5155	0.0000
	~ Rao _{SLA}	Rao _{SLA}	1.2915	0.7624	71	1.6939	0.0947ns
M4	ln (biomassa)	Intercepto	-1.0985	0.2141	71	-5.1306	0.0000
	~ Rao _{SD}	Rao _{SD}	1.1143	0.9964	71	1.1184	0.2672ns
M5	ln (biomassa)	Intercepto	-1.1472	0.1969	71	-5.8260	0.0000
	~ Rao _{LNC}	Rao _{LNC}	1.4439	0.7006	71	2.0602	0.0430
M6	ln (biomassa)	Intercepto	-1.2503	0.1966	71	-6.3603	0.0000
	~ Rao _H	Rao _H	2.5793	0.8968	71	2.8760	0.0053

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 20. Ajustes entre diversidade funcional considerando todos os atributos funcionais mensurados neste trabalho com a biomassa podada em quilogramas por metro quadrado.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Zhu, Jiang e Zhang (2016) também encontraram efeitos positivos da diversidade funcional de múltiplos atributos com a produção de biomassa, porém encontraram efeitos negativos da diversidade funcional baseada apenas em altura máxima (H). Contudo a relação negativa com a diversidade funcional H pode estar associada ao agroecossistema avaliado, no caso pastagens alpinas, que naturalmente possuem pouca variação em altura. Já que outros trabalhos mostraram efeito positivo, sendo em muitos casos, o atributo funcional de maior impacto na produção de biomassa (ALI et al., 2017).

O efeito da diversidade funcional sobre a produção de biomassa pode estar atribuído a complementariedade de nichos (POOTER et al., 2015). Sendo o efeito positivo para a diversidade funcional para ambos atributos (LNC e H) nos mostra uma atribuição positiva em se ter diversidade na estratégia de aquisição de LNC (ALI et al., 2017).

Agroecossistemas com plantas de alturas distintas, ou seja, com diversidade em altura ocupam de forma mais completa o espaço vertical, podendo assim aproveitar melhor a incidência solar e conseqüentemente aumentar a produção de biomassa para a poda. Esse resultado nos mostra o quão importante é garantir a estratificação das espécies dentro de sistemas agroflorestais, fazendo com que esse sistema seja composto de espécies de diferentes alturas e ocupando espaços distintos (LIU et al., 2016).

7.5.3. Influência da identidade funcional sobre a produção de biomassa podada

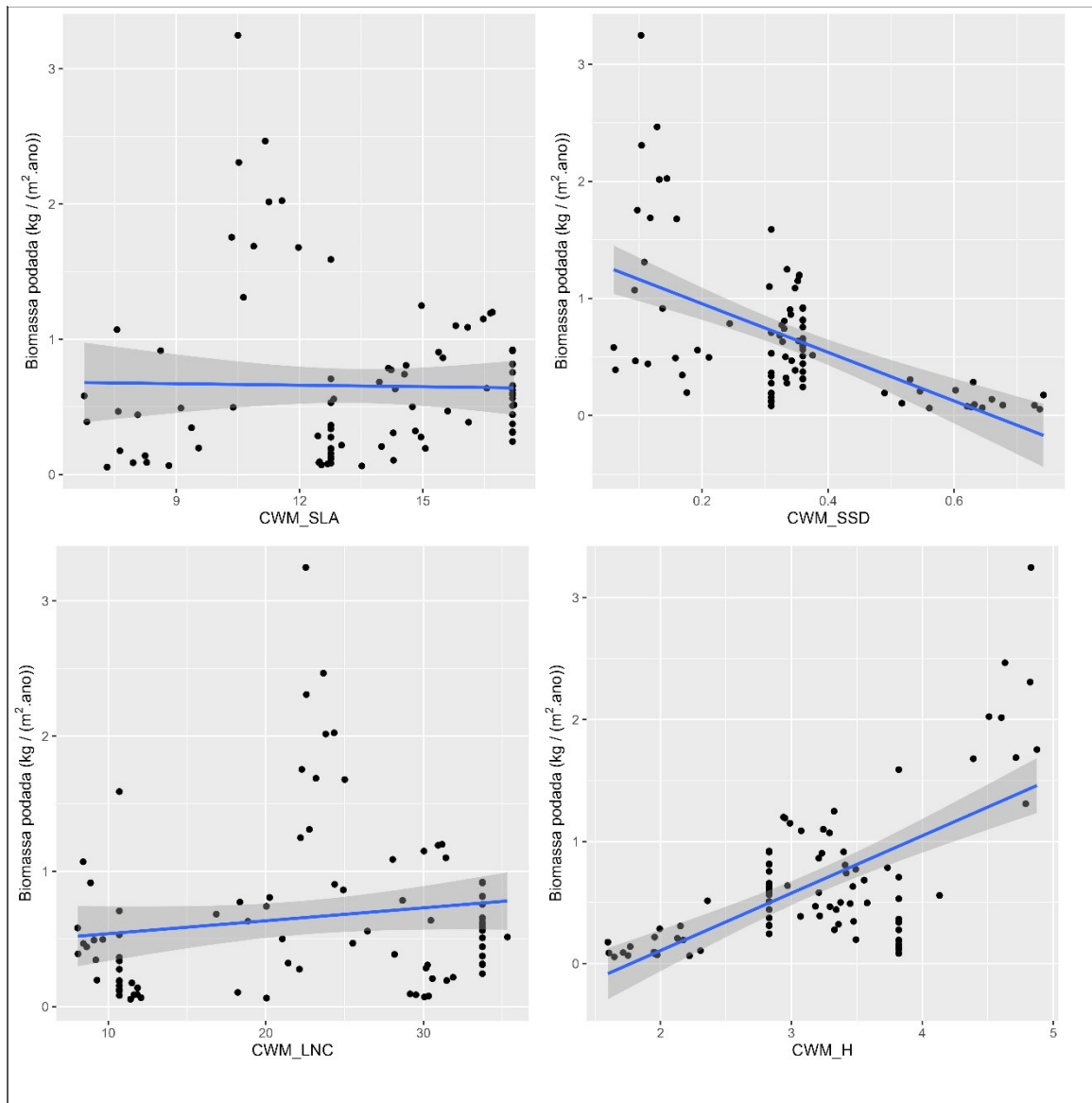
Dentre os índices de identidade funcional, os modelos contendo unicamente identidade funcional de área foliar e conteúdo de matéria seca (CWM_LA e CWM_LDMC) não atenderam os pressupostos, com dispersão dos resíduos heterogênea e não foram apresentados e discutidos aqui (Tabela 8).

Tabela 8. Modelos finais para identidade funcional com efeito significativo da variável preditora sobre a variável resposta e que atenderam aos pressupostos de não colinearidade, homocedasticidade e normalidade.

Modelo	Modelo	Preditoras	Valor	Std. Error	DF	t-value	p-value
M8	ln (biomassa)	Intercepto	-1.8797	0.4118	71	-4.5645	0.0000
	~ CWM _{SLA}	CWM _{SLA}	0.0686	0.0283	71	2.4244	0.0179
M9	ln (biomassa)	Intercepto	0.5628	0.1715	71	3.2817	0.0016
	~ CWM _{SSD}	CWM _{SSD}	-4.0228	0.4499	71	-8.9404	0.0000
M10	ln (biomassa)	Intercepto	-1.7414	0.2566	71	-6.7870	0.0000
	~ CWM _{LNC}	CWM _{LNC}	0.0336	0.0076	71	4.4174	0.0000
M11	ln (biomassa)	Intercepto	-3.1918	0.3176	71	-10.0505	0.0000
	~ CWM _H	CWM _H	0.7481	0.0969	71	7.7269	0.0000

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Figura 21. Ajustes entre identidade funcional da área foliar específica ($\text{mm}^2 \text{g}^{-1}$) com a biomassa podada em quilogramas por metro quadrado.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

SLA – Area Foliar específica

O CWM SLA apresentou relação positiva fraca com a produção de biomassa podada (Figura 21), ecossistemas com maior área foliar específica média produzem maiores quantidade de biomassa. Espécies com alto SLA possuem rápida aquisição de nutrientes, maximizando assim a produção de biomassa (HANIF et al., 2019). Esse resultado vai ao encontro do resultado de outras pesquisas que avaliaram vegetação herbácea sob sucessão na região temperada (GARNIER et al., 2004) com florestas

tropicais úmidas (MALHI et al., 2004; FINEGAN et al., 2015) e em florestas subtropicais na China (ALI et al., 2016).

Ali et al. (2016) mostraram relação entre CWM SLA de folhas jovens e a produção de biomassa de florestas subtropicais e propôs que, as florestas estudadas por ele, eram florestas complexas em suas estruturas verticais, ou seja, possuem melhor distribuição espacial em altura das espécies, tendo menos folhas sombreadas e aproveitam melhor a luz solar. Concluindo que, sistemas com alta proporção de folhas não sombreadas tem maior produção de biomassa (ALI et al., 2016).

Essa teoria apresenta muita sinergia com a estruturação dos sistemas agroflorestais, incluindo os sistemas agroflorestais desta pesquisa. Que é o planejamento das espécies pensando na distribuição das espécies no tempo e no espaço, e no espaço horizontal e vertical, focando nessa complementariedade de nichos e também na entrada de luz no sistema. Este ponto, também está correlacionado as podas nos sistemas agroflorestais, com a realização de podas nestes sistemas aumentamos a proporção de folhas não sombreadas e como resultado impulsionamos a produção de biomassa.

H – Altura máxima da planta

A altura máxima das plantas apresentou o maior impacto positivo na produção de biomassa entre os atributos aqui mensurados (Figura 21). Agroecossistemas com plantas mais altas possuem maior capacidade na produção de biomassa para poda. A altura das plantas é determinante para alguns processos biológicos, entre eles interceptação de luz, evapotranspiração de água e dispersão de sementes. Quando pensamos em florestas ou até mesmo na biomassa total em pé de ecossistemas a altura das plantas é capaz de dizer qual a volumetria de biomassa daqueles ecossistemas (PROULX, 2021). Agora quando pensamos em produção de biomassa podada, a interceptação de luz pode ser intensificada com plantas mais altas, aumentando assim o poder fotossintético das plantas e consequentemente a produção de biomassa.

Esse comportamento vai ao encontro de diversos trabalhos (ALI et al., 2016; VARGAS-LARRETA et al., 2021). Alguns resultados vão na contramão dos resultados encontrados nesta pesquisa. Como o de Finegan et al. (2015), onde os resultados mostraram uma relação negativa entre o CWM H e a produção de biomassa em florestas tropicais da Bolívia, Brasil e Costa Rica.

SSD – Densidade específica do caule

A média funcional em relação a densidade específica do caule (SSD) apresentou uma relação negativa com a produção de biomassa podada. Ou seja, comunidades com médias de densidade específica do caule menores tendem a apresentar uma produção de biomassa podada maior. (Figura 21). A hipótese era de que quanto maior a identidade funcional do atributo SSD, maior a produção de biomassa, levando em consideração que, caules mais densos possuem maior capacidade de suportar grandes quantidades de biomassa.

Na maioria dos trabalhos a medida utilizada é WD – Wood density (Densidade da madeira), já que são mensurações realizadas em ambientes florestais e predominantemente com espécies arbóreas. Como esta pesquisa foi desenvolvida em sistemas agroflorestais, onde existe uma mescla de espécies arbóreas e espécies arbustivas, a medida utilizada foi SSD – Steam specific density (Densidade específica do caule).

Cavanaugh et al. (2014) e Finegan et al. (2015) não encontraram significância para o CWM WD em florestas tropicais na América do Sul, enquanto que Lasky et al. (2014) mostrou um impacto positivo do aumento no CWM WD na produção de biomassa em florestas tropicais jovens da Bolívia, da mesma forma como Hager e Avalos (2017) mostraram uma dominância do CWM WD no aumento de produção de biomassa em sistemas agroflorestais na Costa Rica.

A diferença encontrada nesta pesquisa pode estar associada a 3 fatores principais. O primeiro já apresentado anteriormente, apesar de representarem conceitos muito similares SSD e WD não são comparáveis e muito provavelmente tem comportamentos opostos. Segundo os SAFs estudados estão em fase inicial de desenvolvimento, impactando na densidade específica do caule dessas espécies. E por último e talvez o mais justificável é que a variável resposta aqui é biomassa podada e não biomassa em pé, apesar de poderem ser correlacionadas. A biomassa de um mesmo caule já foi podada algumas vezes, alterando assim, a relação caule e biomassa.

LNC – Concentração foliar de nitrogênio

O nitrogênio foliar também apresentou impacto positivo na produção de biomassa podada, quanto maior a média do nitrogênio foliar das espécies daquele ecossistema,

maior será a produção de biomassa podada. Finegan et al. (2015), mostrou uma relação negativa entre o CWM LNC e a produção de biomassa em florestas tropicais da Bolívia, Brasil e Costa Rica.

Quando consideramos o aumento de produção de biomassa podada associado ao CWM SLA e CWM LNC, podemos sugerir uma melhora nas propriedades do solo através da deposição desse material, devido à alta concentração deste elemento nas folhas e por se tratarem de folhas de vida curta (alto SLA) (RAWAT et al., 2019; HANIF et al., 2019). Impactando ainda mais quando falamos de produção de biomassa podada e sistemas agroflorestais, como neste trabalho.

Podemos concluir, que incluir espécies com altas médias dos atributos funcionais nitrogênio foliar e área foliar específica, se faz essencial para a manutenção desses sistemas, podendo diminuir a necessidade de aplicação de insumos externos. Já que são espécies com maior capacidade de fixação de nitrogênio e conseqüentemente possuem maiores taxas de crescimento.

7.5.4. Influência da diversidade funcional e identidade funcional sobre a produção de biomassa podada

Para entender o que influencia mais a produção de biomassa podada, foram testados alguns modelos onde as variáveis preditoras foram identidade e diversidade funcional de cada atributo (Tabela 9). A partir destes resultados podemos evidenciar que na maioria dos casos ambas medidas, identidade e diversidade funcional, influenciam na produção de biomassa podada, com exceção, neste trabalho, do atributo nitrogênio foliar.

Para os atributos SLA, LNC e H, tanto a hipótese da razão de massa (CWM) quanto a hipótese de complementaridade de nichos (Rao) são importantes para prever a produção de biomassa podada. Conclusão similar a outros estudos onde foram avaliadas florestas tropicais secundárias (ALI et al., 2017),

Contudo quando comparamos dentro de cada atributo o peso do CWM e Rao, notamos que para os atributos funcionais SLA e H, a hipótese de complementaridade de nichos tem peso maior, praticamente 2 vezes (Tabela 9 – Modelos 12 e 16), em relação a hipótese da razão de massa. Ou seja, apesar de ambas predizerem o comportamento da produção de biomassa podada, o Rao ainda apresenta maior influência para esses dois atributos (Ding e Zang, 2021). Sendo assim, sistemas agroflorestais com diversidade de

altura das plantas, mantendo maior média das alturas e com SLA diversificado e também com média maior, possuem maior capacidade de produção de biomassa podada. Em relação à altura, apesar de plantas mais altas possuírem maior capacidade de interceptação de luz, a diversidade de alturas possui melhor aproveitamento da incidência solar sob o dossel. Já o SLA, com a diversidade de SLA, podemos encontrar plantas com SLA menores e conseqüentemente folhas mais espessas, as quais mesmo em ambientes sombreados são capazes de manter produtividade.

Quando olhamos para o atributo funcional SSD, apenas a identidade funcional impacta a produção de biomassa, de forma negativa. Nos indicando que, em casos onde devemos otimizar a produção de biomassa podada, o que acontece nos sistemas agroflorestais, devemos prezar por espécies que possuam densidade específica do caule menores, esse resultado pode estar associado ao fato de espécies que possuem rápido crescimento normalmente possuem menores densidades de caule (SVOB; ARROYO-MORA; KALACSKA, 2014). Contudo é importante salientar que espécies de rápido crescimento possuem caules menos lignificados, portanto é importante manter a diversidade de SSD pensando na qualidade da biomassa que será podada.

Por fim, quando olhamos para o nitrogênio foliar encontramos que tanto a identidade funcional, quanto a diversidade funcional impactam a produção de biomassa podada, sendo apenas orientada pelas duas hipóteses. Ou seja, para otimizar a produção de biomassa podada devemos pensar em incluir mais espécies que possuam alto nitrogênio foliar, aumentando assim, a média da concentração de nitrogênio foliar na comunidade. Esse resultado está associado ao conteúdo de N foliar ser um fator limitante ao crescimento e produção de biomassa da planta, estando envolvido em diversos processos como assimilação de carbono por fotossintetizadores (NIJS; BEHAEGHE; IMPENS, 1995).

Tabela 9. Modelos finais com efeito significativo da diversidade funcional + identidade funcional sobre a variável resposta e que atenderam aos pressupostos de não colinearidade, homocedasticidade e normalidade.

Modelos	Modelo	Preditoras	Valor	Std. Error	DF	t-value	p-value
M12	log(Biomassa) ~	Intercepto	-2.1524	0.4278	70	-5.0315	0.0000
	Rao_SLA +	Rao_SLA	1.4702	0.7422	70	1.9809	0.0515
	CWM_SLA	CWM_SLA	0.0738	0.02799	70	2.6372	0.0103
M13	log(Biomassa) ~	Intercepto	2.8982	0.3482	70	8.3237	0.0000
	Rao_LDMC +	Rao_LDMC	0.7399	0.7032	70	1.0523	0.2963ns
	CWM_LDMC	CWM_LDMC	-0.1240	0.0113	70	-10.953	0.0000

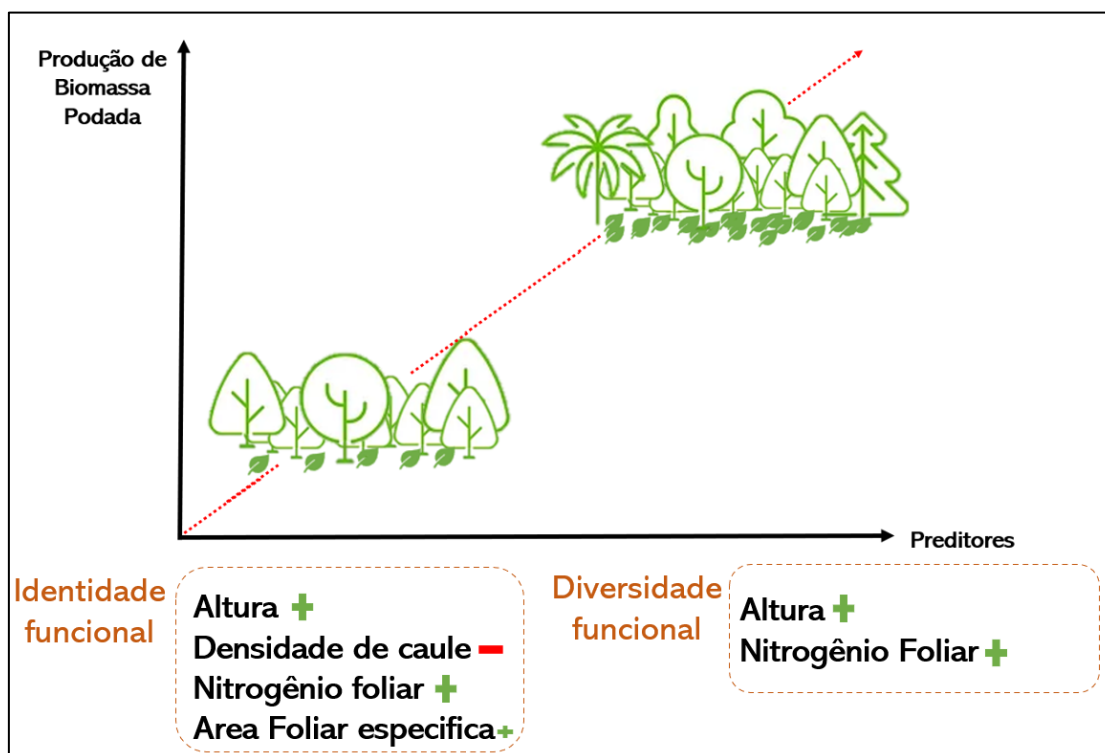
M14	log(Biomassa) ~	Intercepto	0.5440	0.1891	70	2.8762	0.0053
	Rao_SSD +	Rao_SSD	0.1751	0.7266	70	0.2409	0.8103ns
	CWM_SSD	CWM_SSD	-4.0185	0.4527	70	-8.8761	0.0000
M15	log(Biomassa) ~	Intercepto	-1.7963	0.2572	70	-6.9840	0.0000
	Rao_LNC +	Rao_LNC	0.9038	0.6472	70	1.3965	0.1670
	CWM_LNC	CWM_LNC	0.0313	0.0077	70	4.0470	0.0001
M16	log(Biomassa) ~	Intercepto	-3.1858	0.3131	70	-10.1759	0.0000
	Rao_H + CWM_	Rao_H	1.4282	0.7555	70	1.8904	0.0628ns
	H	CWM_H	0.6976	0.0991	70	7.0391	0.0000

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

7.6. Conclusão

A partir deste trabalho concluímos que alguns atributos funcionais impactam mais que outros na produção de biomassa podada. E que a produção de biomassa podada é conduzida por ambas hipóteses, de razão de massa (CWM) e complementariedade de nichos (Rao), variando no atributo funcional a ser considerado (Figura 22).

Figura 22. Ilustração representado os principais resultados da pesquisa: aumento da produção de biomassa podada com o aumento do CWM para os atributos H e LNC e diversidade em H, SLA e LNC e diminuição com o CWM SSD.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Foram encontradas evidências que suportam o impacto positivo forte na produção de biomassa do CWM para dois atributos: altura total da planta e concentração de nitrogênio

foliar. O CWM do atributo SLA tem impacto positivo fraco e CWM SSD impacto negativa na produção de biomassa podada. Em relação a diversidade funcional, temos relação positiva com a produção de biomassa podada a diversidade funcional em relação altura máxima e conteúdo de nitrogênio foliar.

Sendo assim, fica evidenciado que para o planejamento de sistemas agroflorestais e pensando em maximizar a produção de biomassa é importante considerar a diversidade e identidade funcional, tentando garantir diversidade e maximizando as médias de alguns atributos funcionais, como H e LNC. Também fica evidenciado o impacto positivo dos atributos altura e conteúdo de nitrogênio foliar das espécies, sendo atributos chaves para a produção de biomassa podada.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível a construção de equações alométricas para as espécies *Inga semialata*, *Psidium cattleianum*, *Schinus terebinthifolia*, *Citharexylum myrianthum*, *Guazuma ulmifolia*, *Trema micrantha*, *Erythrina speciosa*, *Musa spp.*, *Saccharum officinarum*, *Pennisetum purpureum* e *Cajanus cajan* com bom ajuste para a estimativa de produção de biomassa podada por galho em sistemas agroflorestais sucessionais. Criando assim uma alternativa, ainda inexistente, para a mensuração desse parâmetro. Essas equações viabilizam a escolha da melhor época de poda com base no volume disponível na árvore e também facilitam a mensuração dessa variável por outros pesquisadores. Também ficou claro a necessidade de mais pesquisas que considerem a quantificação de biomassa podada, já que grande parte dos artigos fala sobre biomassa em pé. A poda representa um manejo de grande importância nos sistemas agroflorestais, pela importância que ela tem para o funcionamento do sistema e também em relação aos custos que este manejo representa ao produtor, mostrando assim a importância de mais trabalhos com essa abordagem.

A partir desta pesquisa também fica evidenciado a importância de avaliar 4 atributos funcionais durante o planejamento de um sistema agroflorestal, que são altura máxima das plantas, área foliar específica, densidade específica do caule e concentração de nitrogênio foliar. Segundo os resultados obtidos, afim de maximizar a produção de biomassa para a poda, as médias dos atributos funcionais altura das plantas e concentração de nitrogênio foliar devem ser maiores, para que o agroecossistema seja capaz de interceptar maiores quantidades de luz solar e possuir mais eficiência na fotossíntese. Já em relação a área foliar específica, a diversidade funcional possui maior benefício na produção de biomassa podada, aumentando a eficiência de folhas sombreadas. E por fim, menores densidades de caules podem aumentar a produção de biomassa, porém a diversificação é mais indicada para não prejudicar a qualidade da biomassa podada.

9. REFERÊNCIAS

ABBAS, FARHAT; HAMMAD, HAFIZ MOHKUM; FAHAD, SHAD; CERDA, ARTEMI; RIZWAN, MUHAMMAD; FARHAD, WAJID; EHSAN, SANA; BAKHAT, HAFIZ FAIQ. **Agroforestry: a sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios – a review**. *Environ Sci Pollut Res*, v.24 p.11177–11191, 2017.

AHMED, I.U., SMITH, A.R. & GODBOLD, D.L. **Polyculture affects biomass production of component species but not total standing biomass and soil carbon stocks in a temperate forest plantation**. *Annals of Forest Science* v.76, p.91. 2019.

ALAVALAPATI, J. R. R.; SHRESTHA, R. K.; STAINBACK, G. A.; MATTA, J. R. **Agroforestry development: an environmental economic perspective**. *Agroforestry Systems*, v. 61, p. 299-310, 2004

ALCUDIA-AGUILAR et al. **Allometric estimation of the biomass of musa SPP. In homegardens of tabasco, México**. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 22 p.143-152, 2019.

ALEXANDER, S., C. R. NELSON, J. ARONSON, D. LAMB, A. CLIQUET, K. L. ERWIN, C. M. FINLAYSON, R. S. DE GROOT, J. A. HARRIS, E. S. HIGGS, R. J. HOBBS, R. R. ROBIN LEWIS, D. MARTINEZ, AND C. MURCIA. **Opportunities and challenges for ecological restoration within REDD**. *Restor. Ecol.* 19: 683-689, 2011.

ALVARES, C.A. et al. **Köppen’s climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, H.J.C., SEGURA, M.A., FERIA, M. et al. **Above-ground biomass models for coffee bushes (Coffea arabica L.) in Líbano, Tolima, Colombia**. *Agroforest Syst* v.92 p.775. 2018.

ANDRADRE, D.F. & OGLIARI, P.J. **Estatística para Ciências Agrárias e Biológicas**. Editora da UFSC, 438p. 2007.

ARMECIN, R.B.; COSECO, W.C. **Abaca (Musa textilis Nee) allometry for above-ground biomass and fiber production**. *Biomass and Bioenergy*. v. 46, p. 181-189, 2012.

BARBIER, E. B., et al. **The economic value of biodiversity. Heywood and United Nations Environment Programme (UNEP)**. *Global biodiversity assessment*. Cambridge; New York, NY, USA: Cambridge University Press p. 823-914. 1995.

BARRIOS, E., & GUILLERMO COBO, J. **Plant growth, biomass production and nutrient accumulation by slash/mulch agroforestry systems in tropical hillsides of Colombia**. *Agroforestry Systems*, v. 60(3), p. 255–265, 2004.

BASUKI, T. M., VAN LAAKE, P. E., SKIDMORE, A. K., & HUSSIN, Y. A. **Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland**

- Dipterocarp forests.** *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1684–1694, 2009. doi:10.1016/j.foreco.2009.01.027
- BAYAZIT S., IMRAK. B., AND KUDEN, A., **Effects of tipping applications on yield and fruit quality of some peach and nectarine.** *Mustafa Kemal Universitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, v. 17, p. 23–30, 2012.
- BHAGWAT, A. S.; WILLIS, K. J.; BIRKS, J. B.; WHITTAKER, R.J. **Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity?** *Trends in Ecology and Evolution*, v. 23(5), p. 261–267, 2008.
- BOND, W.J., HONIG, M. & MAZE, K.E. **Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications.** *Oecologia* 120: 132-136. 1999.
- BOTTA-DUKÁT, Z. **Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits.** *Journal of Vegetation Science*, v. 16, n. 5, p. 533–540, 2005.
- BRASIL, JANDESON; HUSZAR, VERA L. M. **O papel dos traços funcionais na ecológica de fito plâncton continental.** *Oecol. Aust.*, v.15(4) p.799-834. 2011.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n.4, de 8 de setembro de 2009. Diário Oficial da União, 10 de setembro de 2009.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n.429, de 28 de fevereiro de 2011. Diário Oficial da União, 01 de março de 2011.
- BRAZ et al. – **Efeito da poda sobre a qualidade da madeira de Eucalyptus dunnii, Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna.** *Sci. For.*, Piracicaba, v. 45, n. 114, p. 261-274, jun. 2017.
- CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHEV, N. **Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services.** *Journal of Applied Ecology*, v. 48, n. 5, p. 1079–1087, 2011.
- CALAÇA, ANALICE MARIA; GRELLE, CARLOS EDUARDO VIVEIROS. **Diversidade Funcional de comunidades: Discussões conceituais e importantes avanços metodológicos.** *Oecol. Aust.*, 20(4): 401-516, 2016.
- CARDINALE, B. J. et al. **Biodiversity loss and its impact on humanity.** *Nature*, v. 486, n. 7401, p. 59–67, 2012.
- CAVANAUGH, K. C., GOSNELL, J. S., DAVIS, S. L., AHUMADA, J., BOUNDJA, P., CLARK, D. B., ... ANDELMAN, S. **Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and functional dominance on a global scale.** *Global Ecology and Biogeography*, 23(5), 563–573, 2014. doi:10.1111/geb.12143
- CERVEIRA, S. S. **Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo em floresta plantada com tachi-branco (Tachigali vulgaris).** 111 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

- CHAVE, J., R. CONDIT, S. AGUILAR, A. HERNANDEZ, S. LAO, AND R PEREZ. **Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates.** *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 359: 409-420, 2004.
- CHAVE, J., RÉJOU-MÉCHAIN, M., BÚRQUEZ, A., CHIDUMAYO, E., COLGAN, M. S., DELITTI, W. B. C., ... VIEILLEDENT, G. **Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees.** *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190, 2014. doi:10.1111/gcb.12629
- CIANCIARUSO, MARCUS VINICIUS; SILVA, IGOR AURÉLIO; BATALHA, MARCO ANTÔNIO. **Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a ecologia de comunidades.** *Biota Neotrop.*, vol. 9-3, 2009.
- CIFUENTES JARA, M., MORALES, D., HENRY, M. **Inventory of Volume and Biomass Tree Allometric Equations for Central and South America.** UN-REDD MRV report 11, CATIE, Turrialba, Costa Rica, Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2013.
- CYSNEIROS, V. C., PELISSARI, A. L., GAUI, T. D., FIORENTIN, L. D., CARVALHO, D. C., SILVEIRA FILHO, T. B., & AMARAL MACHADO, S. **Modeling of tree height–diameter relationships in the Atlantic Forest: Effect of forest type on tree allometry.** *Canadian Journal of Forest Research*, 2020. doi:10.1139/cjfr-2020-0060
- DALAGNOL, R., GRAMCIANINOV, C. B., CRESPO, N. M., LUIZ, R., CHIQUETTO, J. B., MARQUES, M. T. A., ... SPARROW, S. **Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change?** *Climate Resilience and Sustainability*, 2021. doi:10.1002/cli2.15
- DAY, K. R., DEJONG, T. M. AND HEWITT, A. A. **“Postharvest summer pruning of “Firebrite” nectarine trees,”** *HortScience*, v. 24, p. 238–240. 1989.
- DEBASTIANI V. L. **SYNCSA: Analysis of Functional and Phylogenetic Patterns in Metacommunities**, 2020.
- DE CARVALHO, E. X., MENEZES, R. S. C., DE SÁ BARRETO SAMPAIO, E. V., NETO, D. E. S., TABOSA, J. N., DE OLIVEIRA, L. R., ... SALES, A. T. (2019). **Allometric Equations to Estimate Sugarcane Aboveground Biomass.** *Sugar Tech.* doi:10.1007/s12355-019-00741-w
- DÍAZ, S.; CABIDO, M. **Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes.** *Trends in Ecology and Evolution*, v. 16, n. 11, p. 646–655, 2001.
- DÍAZ, S. et al. **Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 104, n. 52, p. 20684–20689, 2007.
- DILLA, A.M., SMETHURST, P.J., BARRY, K. et al. **Tree pruning, zone and fertiliser interactions determine maize productivity in the *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev parkland agroforestry system of Ethiopia.** *Agroforest Syst* p. 93: 2019.

- DING, Y., & ZANG, R. **Determinants of aboveground biomass in forests across three climatic zones in China.** *Forest Ecology and Management*, 482, 118805., 2021. doi:10.1016/j.foreco.2020.118805
- DOUTERLUNGNE, DAVID ET AL. **Allometric equations used to estimate biomass and carbon in four neotropical tree species with restoration potential.** *Agrociencia [online]*. 2013, vol.47, n.4, pp.385-397. ISSN 2521-9766.
- ELIAS, M., AND C. POTVIN. **Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species.** *Can. J. Forest Res.* 33: 1039-1045, 2003.
- FAHRIG, LENORE. **Effects of habitat fragmentation on biodiversity** *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2003.
- FAO. **Food and Agriculture Organization. The state of food insecurity in the world: economic crises – impacts and lessons learned.** Rome: FAO, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0876e/i0876e00.htm>>. Acesso em: 14 set. 2021.
- FINEGAN, B., PEÑA-CLAROS, M., DE OLIVEIRA, A., ASCARRUNZ, N., BRET-HARTE, M. S., CARREÑO-ROCABADO, G., ... POORTER, L. **Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypotheses.** *Journal of Ecology*, 103(1), 191–201, 2014. doi:10.1111/1365-2745.12346
- GABA, S. et al. **Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity.** *Agronomy for Sustainable Development*, v. 34, n. 1, p. 103–119, 2014.
- GABA, S., PERRONNE, R., FRIED, G., GARDARIN, A., BRETAGNOLLE, F., BIJU-DUVAL, L., et al. **Response and effect traits of arable weeds in agroecosystems: a review of current knowledge.** *Weed research*, 1–25., 2017.
- GARNIER, E. et al. **Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession.** *Ecology*, v. 85, n. 9, p. 2630– 2637, 2004.
- GAYON, J. **History of the concept of allometry.** *American Zoologist*, v. 40, p. 748-758, 2000.
- GILLISON, A. N.; CARPENTER, G. **A generic plant functional attribute set and grammar for dynamic vegetation description and analysis.** *Ecological Society, Functional Ecology*, v. 11, p. 775–783, 1997.
- GÖTSCH, E. **Homem e Natureza: Cultura na Agricultura.** Recife: Recife Gráfica Editora, 1997.
- GRIGGS, D. et al., **Policy: Sustainable development goals for people and planet.** *Nature* 495, 305–307, 2013. doi: 10.1038/ 495305
- GRIME, J. P. **Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects.** *Journal of Ecology*, v. 86, p. 891–899, 1998.

- HAFNER, J. M., STEINKE, J., UCKERT, G., SIEBER, S., KIMARO, A. A. **Allometric equations for estimating on-farm fuel production of *Gliricidia sepium* (*Gliricidia*) shrubs and *Cajanus cajan* (pigeon pea) plants in semi-arid Tanzania.** *Energy, Sustainability and Society*. 11:43, 2021.
- HÄGER, A., & AVALOS, G. **Do functional diversity and trait dominance determine carbon storage in an altered tropical landscape?** *Oecologia*, 184(2), 569–581, 2017. doi:10.1007/s00442-017-3880-x
- HALLÉ F. **Modular growth in seed plants.** *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 313, 77–88, 1986.
- HANIF, M. A., YU, Q., RAO, X., & SHEN, W. **Disentangling the Contributions of Plant Taxonomic and Functional Diversities in Shaping Aboveground Biomass of a Restored Forest Landscape in Southern China.** *Plants*, 8(12), 612, 2019. doi:10.3390/plants8120612
- HAUTIER, YANN et. al., **Eutrophication weakens stabilizing effects of diversity in natural grasslands.** *Nature*. Volume 508, 2014.
- HEVIA, A. et al. / **Novel approach to assessing residual biomass from pruning: A case study in Atlantic *Pinus pinaster* Ait. timber forests.** *Renewable Energy*. v.107 p.620-628. 2017.
- HIGUCHI, N.; RAMM, W. **Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil).** *Commonwealth Forestry Review*, v.64, p. 1, p. 33-41, 1985.
- HOOPER, D.U. & DUKES, J.S. **Overyielding among plant functional groups in a long-term experiment.** *Ecology Letters*, 7, 95– 105, 2004.
- HOOPER, D. U. et al. **Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge.** *Ecological Monographs*, v. 75, n. 1, p. 3–35, 2005.
- HOTHORN, T et al. **lmtest: Testing Linear Regression Models**, 2020.
- HUNTER, M.L., V. ACUÑA, D.M. BAUER, K.P. BELL, A.J.K. CALHOUN, M.R. FELIPE-LUCIA, J.A. FITZSIMONS, E. GONZÁLEZ, M. KINNISON, D. LINDEMAYER, C.J. LUNDQUIST, R.A. MEDELLIN, E.J. NELSON, P. POSCHLOD. **Conserving small natural features with large ecological roles: a synthetic overview.** *Biol. Conserv.*, v211, p. 88-95, 2017.
- HUY, B., POUDEL, K., KRALICEK, K., HUNG, N., KHOA, P., PHƯƠNG, V., & TEMESGEN, H. **Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Tropical Dipterocarp Forests of Vietnam.** *Forests*, 7(12), 180, 2016. doi:10.3390/f7080180
- IKINCI A. **Influence of pre- and postharvest summer pruning on the growth, yield, fruit quality, and carbohydrate content of early season peach cultivars.** *The Scientific World Journal*, 2014.
- IPAM Amazônia. **O que são Serviços Ambientais? É possível compensar economicamente a prestação destes serviços?**, 2015 Acesso em: 14 de out. de 2021.

Disponível em: <<https://ipam.org.br/entenda/o-que-sao-servicos-ambientais-e-possivel-compensar-economicamente-a-prestacao-destes-servicos/>>

IPCC. (2019). **Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems – Summary for Policy Makers**. Report, Geneva, Switzerland. Acesso em: 14 de out. de 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/2U1gzza>>

ISBELL, F. et al. **Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales Sampling effects of biodiversity emerging at larger scales**. Nature, v. 546, p. 65– 72, 2017.

JONER, F. **O papel das agroflorestas na conservação da biodiversidade: estratégias e conflitos**. In: SIDDIQUE, I. .; DIONÍSIO, A. C. .; SIMÕES-RAMOS, G. A. (Eds.). . Rede SAFAS: Construindo conhecimentos sobre Agroflorestas em Rede. Florianópolis: UFSC, 2017. p. 94.

JOSE, SHIBU. **Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: na overview**. Agroforest Syst v76, p.1–10. 2009.

KALITA, R. M., DAS, A. K. AND NATH, A. J., **Allometric equations for estimating above and belowground biomass in tea (Camellia sinensis (L.) O. Kuntze) agroforestry system of Barak Valley, Assam, Northeast India**. Biomass Bioenerg. v.83, p.42–49. 2015.

KANG, B., CAVENESS, F., TIAN, G. et al. **Longterm alley cropping with four hedgerow species on an Alfisol in southwestern Nigeria – effect on crop performance, soil chemical properties and nematode population**. Nutrient Cycling in Agroecosystems v. 145 p. 54, 1999.

KANG, B. T., & AKINNIFESI, F. K. **Agroforestry as alternative land-use production systems for the tropics**. Natural Resources Forum, 24(2), 137–151, 2000. doi:10.1111/j.1477-8947.2000.tb00938.x

KIPTOT, E. & FRANZEL, S. **Gender and agroforestry in Africa: a review of women’s participation**. Agroforest Syst v.84, p.35. 2012.

KREBS, C.J. **Ecological Methodology**. 2nd Edition, Benjamin Cummings, Menlo Park, 620, 1999.

KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. **The enigma of tropical homegardens**. Agroforestry Systems, v. 61, p. 135-152, 2004.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P.; SHIPLEY, B. FD: **Measuring functional diversity (FD) from multiple traits, and other tools for functional ecology**, 2015.

LASKY, J. R., URIARTE, M., BOUKILI, V. K., ERICKSON, D. L., JOHN KRESS, W., & CHAZDON, R. L. **The relationship between tree biodiversity and biomass dynamics changes with tropical forest succession**. Ecology Letters, 17(9), 1158–1167, 2014. doi:10.1111/ele.12322

- LAUMONIER, Y., A. EDIN, M. KANNINEN, AND A. W. MUNANDAR. **Landscape-scale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra: implications for carbon stock assessments.** *For. Ecol. Manage.* 259: 505-513, 2010.
- LAVOREL, S. & GARNIER, E. **Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail.** *Functional Ecology*, 16, 545–556, 2002.
- LAVOREL, S. et al. **Assessing functional diversity in the field - Methodology matters!** *Functional Ecology*, v. 22, p. 134–147. 2008.
- LIU, Y., DAWSON, W., PRATI, D., HAEUSER, E., FENG, Y., & VAN KLEUNEN, M. **Does greater specific leaf area plasticity help plants to maintain a high performance when shaded?** *Annals of Botany*, 118(7), 1329–1336, 2016. doi:10.1093/aob/mcw180
- LOREAU, M., NAEEM, S., INCHAUSTI, P., BENGTSSON, J., GRIME, J.P., HECTOR, A. et al. **Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges.** *Science*, v.294, p.804– 808. 2001.
- MAAREL, EDDY VAN DER; TITLYANOVA, ARGENTA. **Above-ground and below-ground biomass relations in steppes under different grazing conditions.** *OIKOS* v.56,p 364-370. 1989.
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAUJO FILHO, J. A. **Impactos de Sistemas Agroflorestais e Convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido Cearense.** *Revista Árvore*, v.30, n. 5, p.837-848, 2006.
- MALÉZIEUX, E. et al. **Review article Mixing plant species in cropping systems : concepts , tools and models . A review.** *Agronomy for Sustainable Development*, v. 29, p. 43–62, 2009.
- MARINI, R. P. **“Defoliation, flower bud cold hardiness, and bloom date of peach as influenced by pruning treatments,”** *Journal of the American Society for Horticultural Science*, vol. 113, pp. 391– 394, 1986.
- MARTIN, A. R.; ISAAC, M. E. **Functional traits in agroecology: Advancing description and prediction in agroecosystems.** *Journal of Applied Ecology*, v. 55, n. 1, p. 5–11, 2018. <http://doi.wiley.com/10.1111/1365-2664.13039>
- MARTINS et al., **Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano.** *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.17, n.6, p.581–587, 2013.
- MARTINS, TATIANA PARREIRAS; RANIERI, VICTOR EDUARDO LIMA. **Sistemas agroflorestais como alternativa para as reservas legais.** *Ambiente & Sociedade n São Paulo* v. XVII, n. 3 n p. 79-96 n jul.-set. 2014.
- MBOW et al. **Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 6:61–67.2014.

- MCCLARAN, M.P. et al. **A tool for estimating impacts of woody encroachment in arid grasslands: Allometric equations for biomass, carbon and nitrogen content in *Prosopis velutina***. *Journal of Arid Environments* v. 88 p. 39-42, 2013.
- MOZUMDER, P., & BERRENS, R. P. **Inorganic fertilizer use and biodiversity risk: An empirical investigation**. *Ecological Economics*, 62(3-4), 538–543, 2007. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.07.01
- NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers with ICRAF. p. 496., 1993.
- NAIR, P.K.R., **Agroforestry for sustainability of lower-input land-use systems**. *Journal of Crop Improvement* 19 (1–2), 25–47, 2007.
- NAIR, P. K. R. **Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check**. *Agrofor. Syst.* 86: 243-253, 2011.
- NEGASH, M., STARR, M. & KANNINEN, M. **Allometric equations for biomass estimation of Enset (*Ensete ventricosum*) grown in indigenous agroforestry systems in the Rift Valley escarpment of southern-eastern Ethiopia**. *Agroforest Syst* v.87,p.571–581.2013.
- NETO, Nelson. E. C. et al. **Agroflorestando o mundo de facão a trator**. Barra do Turvo: 2016, p. 125 Disponível em: < https://13207642-fc58-a931-ebb1-b02fa4c1196a.filesusr.com/ugd/e4b2ec_6f67a1a70da04f54b839e2224c3af5ba.pdf>
- NIETHER, et al. **Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems**. *Annals of Forest Science* v.75, p.38, 2018.
- NIJS, I., BEHAEGHE, T., & IMPENS, I. **Leaf Nitrogen Content as a Predictor of Photosynthetic Capacity in Ambient and Global Change Conditions**. *Journal of Biogeography*, 22(2/3), 177, 1995. doi:10.2307/2845908
- OLIVERAS, I., et al. **Grass allometry and estimation of above-ground biomass in tropical alpine tussock grasslands**. *Austral Ecology* v. 39, p. 408–415, 2014.
- OTEGBEYE GO **Report on Agroforestry and Land Management Practices, Diagnostics Survey of Katsina State of Nigeria**. Katsina State Agricultural and Rural Development Authority.Katsina. P. 89. 2000.
- PALM, C. A., **Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants**, *Agrofor. Syst.*, v. 30, p. 105, 1995.
- PALMA JHN, Graves AR, Burgess PJ, Keesman KJ, van Keulen H, Mayus M, Reisner Y, Herzog F. **Methodological approach for the assessment of environmental effects of agroforestry at the landscape scale**. *Ecol Eng* v.29, p.450–462, 2007.
- PARRESOL, BERNARD R. **Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons**. *Forest Science*. 45(4): 573-593, 1999.

- PAVLIDIS, G. & TSIHRINTZIS, V.A. **Environmental Benefits and Control of Pollution to Surface Water and Groundwater by Agroforestry Systems: a Review.** *Water Resour Manage* v.32, p 1–29. 2018.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. **New handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide.** *Australian Journal of Botany*, v. 61, n. 3, p. 167–234, 2013.
- PETCHEY, OWEN L.; GASTON, KEVIN J. **Functional diversity (FD), species richness and community composition.** *Ecology Letters* v.5, p.402–411. 2002.
- PILLAR, V. D. et al. **Functional redundancy and stability in plant communities.** *Journal of Vegetation Science*, v. 24, n. 5, p. 963–974, 2013.
- PINHEIRO J et al. **nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models**, 2021.
- PLATIS, DIMITRIOS P.; ANAGNOSTOPOULOS, CHRISTOS D.; TSABOULA, AGGELIKI D.; MENEXES, GEORGIOS C.; KALBURTJI, KIRIAKI L; MAMOLOS, ANDREAS P. **Energy Analysis, and Carbon and Water Footprint for Environmentally Friendly Farming Practices in Agroecosystems and Agroforestry.** *Sustainability*. v.11 p.1664. 2019.
- POORTER, L., VAN DER SANDE, M. T., THOMPSON, J., ARETS, E. J. M. M., ALARCÓN, A., ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J., ... BOIT, A. **Diversity enhances carbon storage in tropical forests.** *Global Ecology and Biogeography*, 24(11), 1314–1328, 2015. doi:10.1111/geb.12364
- PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio**, 2ª ed. rev. - São Paulo: Expressão Popular, 2016.
- PROULX, R. **On the general relationship between plant height and aboveground biomass of vegetation stands in contrasted ecosystems.** *PLoS ONE* 16(5): e0252080., 2021. [https:// doi.org/10.1371/journal.pone.0252080](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252080)
- RAMÍREZ-RAMÍREZ et al. **Shifts in tree allometry in a tropical dry forest: implications for above-ground biomass estimation.** *Botanical Sciences*. V.97 (2) p.167-179. 2019.
- RAO, C. R. **Diversity and dissimilarity coefficients: A unified approach.** *Theoretical Population Biology*, v. 21, n. 1, p. 24–43, 1 fev. 1982.
- RAWAT, M.; ARUNACHALAM, K.; ARUNACHALAM, A.; ALATALO, J.; PANDEY, R. **Associations of plant functional diversity with carbon accumulation in a temperate forest ecosystem in the Indian Himalayas.** *J. Ecol. Indc*, 98, 861–868, 2019.
- REICH, P. B. **The world-wide “ fast – slow ” plant economics spectrum : a traits manifesto.** *Journal of Ecology*, v. 102, p. 275–301, 2014.
- RIBEIRO, JOSÉ FELIPE; DUBOC, ENY; DE MELO, JOSÉ TEODORO. **Sistemas Agroflorestais como Instrumento para o Desenvolvimento Sustentável no Bioma Cerrado**, 2004 Disponível em: <<http://saf.cnpqg.embra.br/publicacoes/04.pdf>> Acesso em: Junho de 2019.

- RICOTTA, C.; MORETTI, M. **CWM and Rao's quadratic diversity: a unified framework for functional ecology**. *Oecologia*, v. 167, n. 1, p. 181–188, 22 set. 2011.
- RICOTTA, CARLO. **Through the jungle of biological diversity**. *Acta Biotheoretica*. v.53. p.29–38. 2005.
- ROMERO, F. M. B., JACOVINE, L. A. G., RIBEIRO, S. C., TORRES, C. M. M. E., SILVA, L. F. DA, GASPAR, R. DE O., ... FEARNESIDE, P. M. **Allometric Equations for Volume, Biomass, and Carbon in Commercial Stems Harvested in a Managed Forest in the Southwestern Amazon: A Case Study**. *Forests*, 11(8), 874, 2020. doi:10.3390/f11080874
- SAJDAK, B. VELÁZQUEZ-MARTÍ. **Estimation of pruned biomass through the adaptation of classic dendrometry on urban forests: case study of *Sophora japonica***. *Renew energy*, 47, pp. 188-193, 2012.
- SAJDAK, M. et al. **Prediction models for estimating pruned biomass obtained from *Platanus hispanica* Münchh. used for material surveys in urban forests** *Renewable Energy* v.66 p178-184. 2014.
- SAMSUZZAMAN, S., GARRITY, D.P. & QUINTANA, R.U. **Soil property changes in contour hedgerow systems on sloping land in the Philippines**. *Agroforestry Systems* p. v.46 p.251-272. 1999.
- SANTOS, H.G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.353, 2013.
- SCHROTH et al. **Effects of different methods of soil tillage and biomass application on crop yields and soil properties in agroforestry with high tree competition** *Agriculture, Ecosystems and Environment* v. 52, p. 129-140, 1995.
- SHARESTHA, BHARAT M.; CHANG, SCOTT X.; BORK, EDWARD W.; CARLYLE, CAMERON N. **Enrichment Planting and Soil Amendments Enhance Carbon Sequestration and Reduce Greenhouse Gas Emissions in Agroforestry Systems: A Review**. *Forests*. v.9, p.369. 2018.
- Silva, C. 2020. *Megathyrus* in *Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB86869>>. Acesso em: 28 nov. 2021
- STEENBOCK, WALTER; SILVA, LETÍCIA DA COSTA; DA SILVA, RODRIGO OZELAME; RODRIGUES, ALMIR SANDRO; PEREZ-CASSARINO, JULIAN; FONINI, REGIANE. **Agrofloresta, Ecologia e Sociedade**. Curitiba: Kairós, 2013.
- STEENBOCK, WALTER; VEZZANI, FABIANE MACHADO. **Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza**. Curitiba., 2013.
- STEENBOCK, Walter. **Identificando o espaço para a prática agroflorestal. Plantando uma Agrofloresta**. In: STEENBOCK, Walter; VEZZANI, Fabiane M. *Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza*. Curitiba: 2013, v.1, p.91-102

STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTROM, J., CORNELL, S. E., FETZER, I., BENNETT, E. M., ... SORLIN, S. **Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet.** *Science* (New York, N.Y.), v. 348, n. 6240, p. 1217, 2015

SVOB, S., ARROYO-MORA, J. P., & KALACSKA, M. A wood density and aboveground biomass variability assessment using pre-felling inventory data in Costa Rica. *Carbon Balance and Management*, 9(1), 2014 doi:10.1186/s13021-014-0009-y

SUDMEYER, R. A. et al. **The extent and cost of mallee–crop competition in unharvested carbon sequestration and harvested mallee biomass agroforestry systems.** *Crop & Pasture Science* v. 63, p. 555–569, 2012.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TIEPOLO, G., CALMON, M. & FERETTI, A.R. **Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil.** In: International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring. Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute 153:98-115, 2002

TILMAN. **Agriculture sustainability and intensive production practices.** *Nature*, v. 418, n. August, p. 671–677, 2002.

TOBNER, C. M. et al. **Functional identity is the main driver of diversity effects in young tree communities.** *Ecology Letters*, v. 19, n. 6, p. 638–647, 2016.

TONINI et al. **Biomassa e área foliar de clones de eucalipto em ILPF: Implicações para a desrama.** *Nativa*, Sinop, v.4, n.5, p.271-276, set./out. 2016

UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT [UNCED] (1992). **Convention on Biological Diversity (CBD).** Rio de Janeiro: UNCED, 30, 1992.

VAN BREUGEL, M., J. RANSIJN, D. CRAVEN, F. BONGERS, AND J. S. HALL. **Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models.** *For. Ecol. Manage.* 262: 1648-1657, 2011.

VELÁZQUEZ-MARTÍ, B., SAJDAK, M., & LÓPEZ-CORTÉS, I. **Available residual biomass obtained from pruning *Morus alba* L. trees cultivated in urban forest.** *Renewable Energy*, 60, 27–33, 2013. doi:10.1016/j.renene.2013.04.001

VIEIRA, S.A., ALVES, L.F., AIDAR, M.P.M., ARAÚJO, L.S., BAKER, T., BATISTA, J.L.F., CAMPOS, M.C., CAMARGO, P.B., CHAVE, J., DELITTI, W.B.C., HIGUCHI, N., HONORIO, E., JOLY, C.A., KELLER, M., MARTINELLI, L.A., MATTOS, E.A., METZKER, T., PHILLIPS, O., SANTOS, F.A.M., SHIMABUKURO, M.T., SILVEIRA, M. & TRUMBORE, S.E. **Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest.** *Biota Neotropica* 8, 2008.

VIOLLE, C. et al. **Let the concept of trait be functional!** *Oikos*, v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007.

Wang CK. **Biomass allometric equations for 10 cooccurring tree species in Chinese temperate forests.** *Forest Ecology and Management* 222: 9-16, 2006. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.10.074

WEAVER, P. L.; GILLESPIE, A. J. R. **Tree biomass equations for the forests of the Luquillo Mountains, Puerto Rico.** *Commonwealth Forestry Review*. v. 71, n. 1, p. 35-39, 1992.

WICKHAM et al. **ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics**, 2021.

WOOD, S. A.; KARP, D. S.; DECLERCK, F.; et al. **Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services.** *Trends in Ecology and Evolution*, v. 30, n. 9, p. 531–539, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>

WREGE, M.S. et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Embrapa Clima Temperado, Pelotas. 2011.

YANG, Y. H.; FANG, J. Y.; PAN, Y. D.; JI, C. J. **Aboveground biomass in Tibetan grasslands.** *Journal of Arid Environments*. V.73, p.91-95, 2009.

YOUNG, K. J. **Mimicking Nature: A Review of Successional Agroforestry Systems as an Analogue to Natural Regeneration of Secondary Forest Stands. Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty**, 179–209, 2017. doi:10.1007/978-3-319-69371-2_8

YOUKHANA, A.H.; OGOSHI, R.M.; KINIRY, J.R.; MEKI, M.N.; NAKAHATA, M.H.; CROW, S.E. **Allometric models for predicting aboveground biomass and carbon stock of tropical perennial C4 grasses in Hawaii.** *Front. PlantSci.* v. 8, 2017.

ZHANG, J., FIDDLER, G. O., YOUNG, D. H., SHESTAK, C., & CARLSON, R. **Allometry of tree biomass and carbon partitioning in ponderosa pine plantations grown under diverse conditions.** *Forest Ecology and Management*, 497, 119526, 2021. doi:10.1016/j.foreco.2021.119526

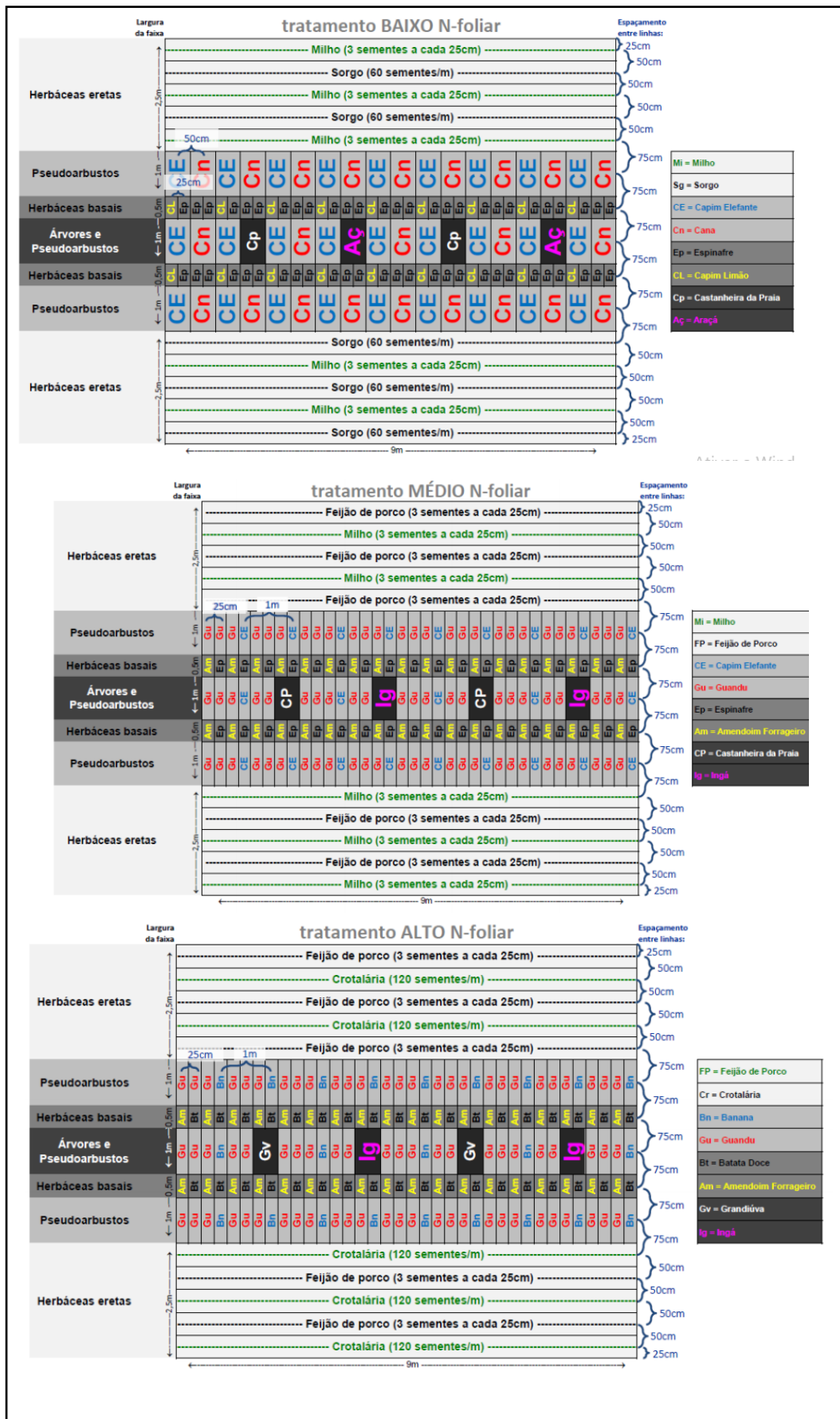
ZHOU, XIANG; YAMAGUCHI, YASUSHI. **Relative Importance of Climatic and Anthropogenic Drivers on the Dynamics of Aboveground Biomass Across-Ecological Zones on the Mongolian Plateau.** *Sustainability* v.10, p.3435. 2018.

ZHU J, JIANG L, ZHANG Y. **Relationships between functional diversity and aboveground biomass production in the Northern Tibetan alpine grasslands.** *Sci Rep*. 2016 Sep 26;6:34105. doi: 10.1038/srep34105. PMID: 27666532; PMCID: PMC5036173.

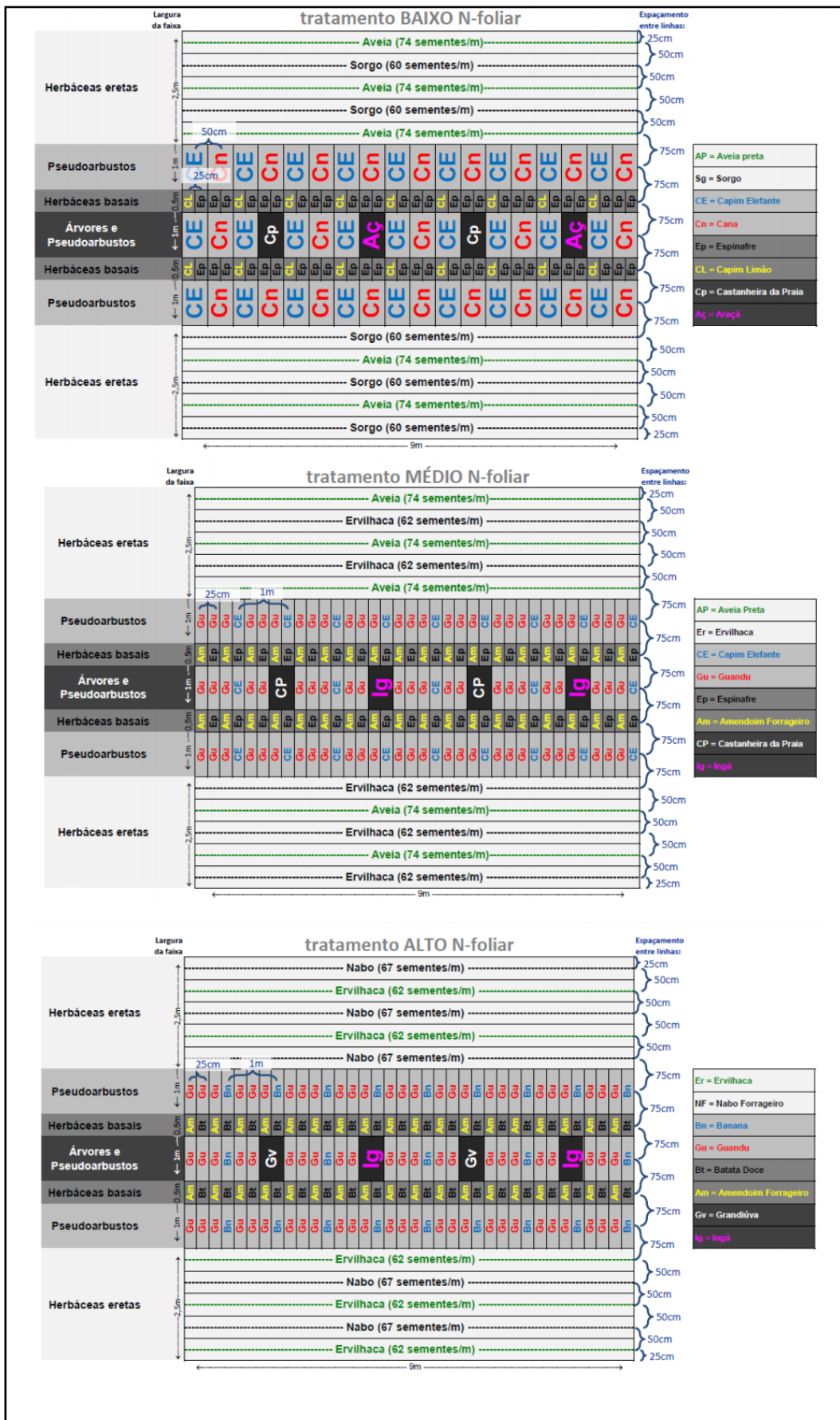
ZUUR, A. F. et al. **Mixed effects models and extensions in ecology with R.** p. 493–502, 2009.

10. ANEXOS

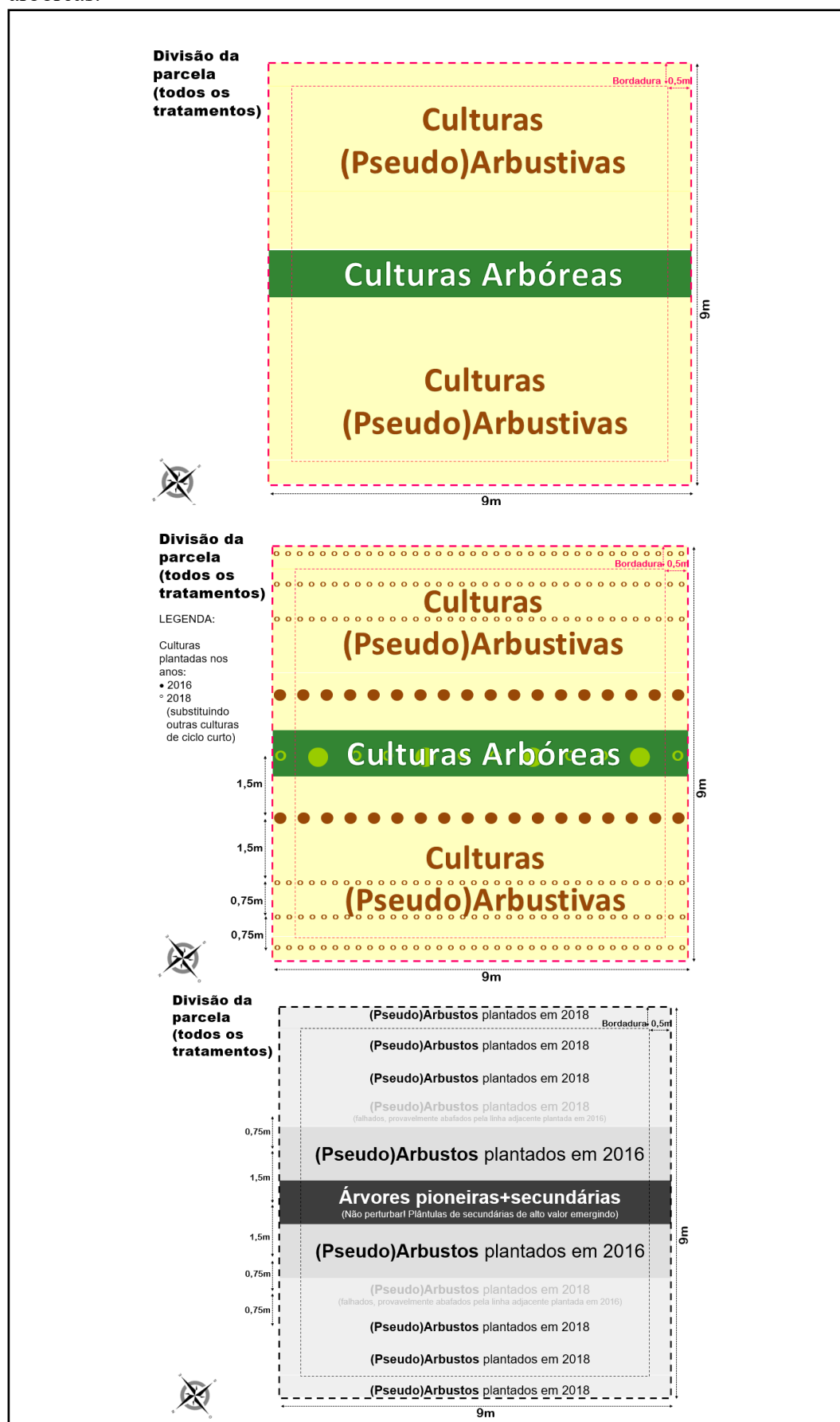
Anexo 1: Croqui do experimento no ano que foi implantado no verão. Contendo linhas de herbáceas eretas, herbáceas basais, pseudoarbustos e árvores.



Anexo 2: Croqui do experimento no ano que foi implantado no inverno. Contendo linhas de herbáceas eretas, herbáceas basais, pseudoarbustos e árvores



Anexo 3: Croqui do experimento atual contendo linhas de pseudoarbustos e arbóreas.



Anexo 4: Croqui detalhado do experimento atual contendo linhas de pseudoarbustos e arbóreas.

